



SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE CULTIVOS VEGETALES ALTERNATIVOS COMO REEMPLAZO A LA PROTEÍNA DE ORIGEN ANIMAL

LAURA CLEMENCIA SALAZAR ORTEGA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Carlos Fernando Cadavid R.

Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA AMBIENTAL
ENVIGADO
2018**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1. PRELIMINARES	14
1.1 Planteamiento del problema	14
1.2 Objetivos del proyecto	14
1.2.1 Objetivo General.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Marco de referencia.....	17
1.3.1 Antecedentes.....	16
1.3.2 Marco teórico.....	20
1.3.3 Marco legal.....	23
2. METODOLOGÍA	24
2.1 IMPACTOS AMBIENTALES GENERALES DE LA INDUSTRIA CÁRNICA.....	24
2.1.1 Revisión bibliográfica del análisis de ciclo de vida de la industria cárnica.....	24
2.1.2 Análisis y conclusiones de los estudios analizados.....	24
2.2 ESPECIES VEGETALES CON ALTO CONTENIDO EN PROTEÍNA.....	24
2.2.1 Bibliografía de especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico aptas para su cultivo en el Oriente Antioqueño.....	24
2.2.2 Priorización y selección de cinco especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico.....	24
2.2.3 Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.....	25
2.3 PRÁCTICAS SOSTENIBLES NECESARIAS PARA LA GENERACIÓN DE UN MODELO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN CICLO CERRADO.....	25

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.3.1 Bibliografía de prácticas sostenibles agrícolas para la generación de un modelo de producción en ciclo cerrado.....	25
2.3.2 Análisis y conclusiones de la bibliografía de prácticas sostenibles....	25
2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERNADERO DE CICLO CERRADO.....	25
2.4.1 Bibliografía de las especificaciones técnicas de cultivo para las cinco especies vegetales seleccionadas.....	25
2.4.2 Modelo piloto.....	25
2.5 COMPARACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	26
2.5.1 Unidad funcional.....	26
2.5.2 Análisis de inventario.....	26
3. DISCUSIÓN	DE RESULTADOS
..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3.1 IMPACTOS AMBIENTALES GENERALES DE LA INDUSTRIA CÁRNICA.....	27
3.1.1 Revisión bibliográfica del análisis de ciclo de vida de la industria cárnica.....	31
3.1.2 Análisis y conclusiones de los estudios analizados.....	47
3.2 ESPECIES VEGETALES CON ALTO CONTENIDO EN PROTEÍNA.....	58
3.2.1 Bibliografía de especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico aptas para su cultivo en el Oriente Antioqueño.....	58
3.2.2 Priorización y selección de cinco especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico.....	72
3.2.3 Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.....	76
3.3 PRÁCTICAS SOSTENIBLES NECESARIAS PARA LA GENERACIÓN DE UN MODELO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN CICLO CERRADO.....	77
3.3.1 Bibliografía de prácticas sostenibles agrícolas para la generación de un modelo de producción en ciclo cerrado.....	78
3.3.2 Análisis y conclusiones de la bibliografía de prácticas sostenibles....	85

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERNADERO DE CICLO CERRADO.....	86
3.4.1	Bibliografía de las especificaciones técnicas de cultivo para las cinco especies vegetales seleccionadas.....	86
3.4.2	Modelo piloto.....	114
3.5	COMPARACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	122
3.5.1	Unidad funcional.....	122
3.5.2	Análisis de inventario.....	122
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	12425
	REFERENCIAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los insumos equivalentes de CO₂ calculados de cada etapa de crecimiento de cada escenario.

Tabla 2. Cuantificación de los impactos ambientales asociados a la producción de un kilogramo de carne de ganado vacuno según los diferentes estudios analizados.

Tabla 3. Priorización de especies vegetales por contenido proteico, frecuencia de cultivo en el Oriente Antioqueño, frecuencia en el mercado del Oriente Antioqueño, precio promedio del producto en el Oriente Antioqueño, aptitud del cultivo en el Oriente Antioqueño, rendimiento de la especie.

Tabla 4. Resultado de análisis de ciclo de vida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Uso de la tierra para productos pecuarios (en m² / kg de producto).

Figura 2. Uso de energía para productos ganaderos, en MJ por kg de producto.

Figura 3. Potencial de calentamiento global para productos pecuarios, en CO₂-e expresado por kg de producto.

Figura 4. Potencial de acidificación (AP, en kg SO₂-e) y potencial de eutrofización (EP, en kg PO₃-e) para productos pecuarios, por kg de producto.

Figura 5. Entradas, fuentes de emisiones y componentes de la evaluación del ciclo de vida de la producción de carne en el oeste de Canadá.

Figura 6. Proporción de las emisiones de gases de efecto invernadero (equivalentes de CO₂ % de las emisiones totales) resultantes de una granja de carne de ganado vacuno en el oeste de Canadá simulada durante un ciclo de producción de 8 años.

Figura 7. Uso acumulado de energía (MJ) del ciclo de vida de la cuna a la granja, huella ecológica (área del ecosistema productivo), y emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂-equivalente) y eutrofización (PO₄equiv.) por kg de carne de vacuno de peso vivo producida en sistemas de producción de carne de res de engorde, forraje / engorde de ganado y sistemas de producción de carne de res en el medio oeste superior de los Estados Unidos.

Figura 8. Límite de sistemas e sistema extensivo.

Figura 9. Límite de sistemas e sistema intensivo

Figura 10. Descripción del sistema extensivo (SE) e intensivo (SI) de producción de carne de res investigados. Toro* no es para criar.

Figura 11. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los sistemas de producción de carne de vacuno en Tailandia. LW, peso vivo; GEI, gas de efecto invernadero. Barras de error: errores estándar. Los valores con diferentes superíndices difieren significativamente (P <0.05).

Figura 12. Consumo de energía de los sistemas de producción de carne en Tailandia. Barras de error: errores estándar. Los valores con diferentes superíndices difieren significativamente (P <0.05).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 13. Impactos en la acidificación de los sistemas de producción de carne en Tailandia. Barras de error: errores estándar. Los valores con diferentes superíndices difieren significativamente ($P < 0.05$).

Figura 14. Impactos en la eutrofización de los sistemas de producción de carne en Tailandia. Barras de error: errores estándar. NS: ninguna diferencia significativa ($P > 0.05$).

Figura 15. Comparación de categorías de impacto (porcentajes) para sistemas intensivos y extensivos. Comparación por 1 kg de carne. Cambio climático (CC), toxicidad humana (TC), acidificación terrestre (AT), eutrofización de agua dulce (EAD), eutrofización marina (EM), ecotoxicidad terrestre (ET), ocupación de tierra agrícola (OTA), agotamiento del agua (AA), agotamiento de fósiles (AF), formación de oxidante fotoquímico (FOF), ecotoxicidad de agua dulce (EAD), ecotoxicidad marina (ETM).

Figura 16. Alcachofa.

Figura 17. Alfalfa.

Figura 18. Amaranto.

Figura 19. Bayas de Goji.

Figura 20. Berro.

Figura 21. Canónigos.

Figura 22. Kale.

Figura 23. Kañiwa.

Figura 24. Maca.

Figura 25. Moringa.

Figura 26. Piñón.

Figura 27. Pistacho

Figura 28. Quinoa.

Figura 29. Sacha inchi

Figura 30. Biodigestor.

Figura 31. Compostaje.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 32. Cosecha de agua lluvia

Figura 33. Invernadero de ciclo cerrado con sistemas de recolección de agua lluvia, biodigestor y compostaje.

Figura 34. Invernadero de ciclo cerrado con cultivo de Sacha Inchi. Vista lateral.

Figura 35. Invernadero de ciclo cerrado con sistema de recolección de agua lluvia.

Figura 36. Invernadero de ciclo cerrado. Vista frontal.

Figura 37. Invernadero de ciclo cerrado. Vista superior.

Figura 38. Invernadero de ciclo cerrado. Controlador de aves (espantapájaros).

RESUMEN

El planeta Tierra enfrenta actualmente una serie de problemáticas medio ambientales que ponen en riesgo la estabilidad ecológica, social, cultural, económica y política del complejo sistema que constituye nuestro mundo. Una de las industrias que aporta en gran medida a la aseveración de los impactos ambientales negativos de carácter antropogénico a nivel global es la producción y el consumo de carne de ganado vacuno.

En el presente trabajo, se buscó ofrecer a los habitantes del Oriente Antioqueño colombiano, diferentes alternativas al consumo de proteína animal (específicamente de la proteína derivada de la carne bovina), por medio de la selección de cinco especies vegetales con alto contenido en proteína aptas para ser cultivadas en el Oriente Antioqueño: la Alfalfa, la Quinua, la Sacha Inchi, las Bayas de Goji y la Maca.

Adicionalmente, se propuso el diseño de un prototipo de un invernadero de ciclo cerrado para el cultivo de dichas especies en el Oriente Antioqueño, en el cual se tuvieron en cuenta cinco prácticas agrícolas sostenibles: la biodigestión, el compostaje, la aplicación de biopesticidas, la cosecha de agua dulce y la fertilización carbónica; esto con el propósito de disminuir aún más los impactos ambientales asociados a la obtención de proteína para consumo humano. Se seleccionó la Sacha Inchi como cultivo piloto para el diseño del invernadero.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida en el cual se evaluó la huella hídrica y el uso de la tierra para la producción de proteína de ganado vacuno en la etapa ganadera, y para la producción de proteína vegetal (Sacha Inchi) cultivada en el invernadero de ciclo cerrado propuesto, con el objeto de contrastar los valores obtenidos para determinar los impactos ambientales asociados a cada práctica durante el proceso para la obtención de la misma cantidad de proteína.

Se obtuvo que el contenido proteico de la Sacha Inchi supera al contenido proteico de la carne de ganado vacuno en un 10%. La huella hídrica relativa al requerimiento diario de consumo de proteína de un adulto de 62 kilogramos causada por la ingesta de carne de ganado vacuno es 38.4 % mayor que la huella hídrica generada por el consumo de Sacha Inchi de un individuo con las mismas características; y el uso de tierra relacionada con requerimiento diario de consumo de proteína de un adulto de 62 kilogramos causada por la ingesta de carne de ganado vacuno es 82% mayor que el uso de tierra generado por el consumo de Sacha Inchi de un individuo con las mismas características.

ABSTRACT

Planet Earth is currently facing a series of environmental problems that put at risk the ecological, social, cultural, economic and political stability of the complex system that constitutes our world. One of the industries that contributes significantly to the asseveration of negative environmental impacts of an anthropogenic nature globally is the production and consumption of beef from cattle.

In the present work, we sought to offer the habitants of eastern Antioquia, different alternatives to the consumption of animal protein (specifically protein derived from bovine meat), through the selection of five plant species with high protein content to be cultivated in Eastern Antioquia: the Alfalfa, the Quinoa, the Sacha Inchi, the Goji Berries and the Maca.

Additionally, the design of a prototype of a closed-cycle greenhouse for the cultivation of these species in Eastern Antioquia was proposed, in which five sustainable agricultural practices were taken into account: biodigestion, composting, application of biopesticides, fresh water harvest and carbon fertilization; this in order to further reduce the environmental impacts associated with obtaining protein for human consumption. The Sacha Inchi was selected as a pilot crop for the design of the greenhouse.

Finally, a life cycle analysis was carried out in which the water footprint and land use were evaluated for the production of cattle protein in the livestock stage, and for the production of vegetable protein (Sacha Inchi) cultivated in the proposed closed cycle greenhouse, in order to contrast the values obtained to determine the environmental impacts associated with each practice during the process to obtain the same amount of protein.

It was obtained that the protein content of Sacha Inchi exceeds the protein content of beef cattle by 10%. The water footprint relative to the daily requirement of protein consumption of an adult of 62 kilograms caused by the intake of meat of cattle is 38.4% greater than the water footprint generated by the consumption of Sacha Inchi of an individual with the same characteristics; and the use of land related to the daily requirement of protein consumption of an adult of 62 kilograms caused by the intake of beef from cattle is 82% greater than the use of land generated by the consumption of Sacha Inchi of an individual with the same characteristics.

INTRODUCCIÓN

El consumo de carne es considerado como indispensable para la nutrición de cualquier ser humano saludable en muchas de las culturas modernas, especialmente occidentales. La producción de carne forma parte esencial del sistema económico, social, cultural y político alrededor del mundo. El ganado vacuno es una de las principales fuentes de proteína animal a nivel global, y, por tanto, la ganadería y la industria cárnica se han ido expandiendo y posicionado cada vez más en el mercado.

Pese a esto, la producción de carne de ganado bovino es una de las prácticas con más implicaciones negativas sobre el medio ambiente en la actualidad, acarreando una serie de problemáticas severas que afectan y desequilibran las condiciones de vida necesarias para la subsistencia de todos los organismos que habitan la superficie terrestre, incluyendo a la sociedad humana en su totalidad.

Existen múltiples medidas que pueden ser aplicadas para la gestión, la minimización o la prevención de dichos impactos. Brindar opciones alternativas al consumo de carne bovina que aporten el mismo beneficio proteínico con unos impactos menores, representa una gran oportunidad de cambio en pos del mejoramiento de las condiciones ambientales del planeta.

Muchas especies vegetales comestibles cuentan con características proteicas similares a las encontradas en la carne bovina y su cultivo tiene implicaciones ambientales menores a las asociadas a la producción de proteína animal, por tanto, pueden ser usadas como alternativa al consumo de carne y al mismo tiempo, disminuir los impactos ambientales negativos generados por causas antrópicas.

Como cualquier actividad humana, la agricultura también es responsable de aportar con el deterioro del medio ambiente a muchos niveles, sin embargo, se han diseñado y estudiado múltiples prácticas agrícolas sustentables, que pueden llegar a reducir considerablemente los impactos asociados a esta industria.

La combinación de ambas prácticas: reemplazo de proteína animal por proteína vegetal y aplicación de métodos agrícolas sostenibles; puede llegar a representar una solución innovadora y sumamente valiosa para las problemáticas ambientales que enfrenta la sociedad moderna y una oportunidad única para redireccionar el desarrollo de la civilización actual.

Luego de llevar a cabo una búsqueda bibliográfica de algunos estudios que evaluaban los impactos ambientales asociados a la industria cárnica en la primera etapa del presente trabajo, se realizó un análisis de los resultados obtenidos por 8 estudios encontrados (uno de los cuales evaluó a su vez otras 16 investigaciones) que valoraron el impacto ambiental de la producción de carne de bovino empleando el ACV como herramienta, se determinaron cuáles eran dichos impactos y cuál era la intensidad de los mismos sobre el medio (Tabla 2). Se obtuvo que los impactos ambientales más significativos fueron: las emisiones de gases de efecto invernadero,

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

el consumo energético, el uso de tierra, la eutrofización, acidificación y el consumo de agua; cumpliendo con el objetivo propuesto de describir los impactos ambientales generales en el ciclo de vida de la industria cárnica y del ganado vacuno. El resultado de dicho análisis contribuyó a la claridad del panorama ambiental en términos de los impactos negativos de la industria cárnica en el mundo, brindando un punto de partida desde el cual se pueden formular soluciones y alternativas que disminuyan el deterioro medio ambiental derivado de esta industria.

La solución a dichas problemáticas propuesta en el presente trabajo, fue desarrollar el diseño de un prototipo de cultivo vegetal con alto contenido en proteína en invernadero de ciclo cerrado como alternativa al consumo de carne de ganado bovino en el Oriente Antioqueño colombiano.

En la segunda etapa del presente trabajo se seleccionaron cinco especies vegetales con alto contenido en proteína de acuerdo a una tabla de priorización: la Alfalfa, la Quinua, la Sacha Inchi, las Bayas de Goji y la Maca. Dichas especies se consideraron las más aptas para su cultivo en el Oriente Antioqueño, se caracterizaban por poseer un alto contenido en proteína y por ser escasas en el mercado y la agricultura local. Esta segunda etapa cumplió con el objetivo de describir las especies vegetales no tradicionales con mayor contenido proteico que pudieran ser cultivadas en el Oriente Antioqueño. Los resultados obtenidos brindan una alternativa al consumo de carne de bovino, brindan una nueva oportunidad de negocio en el Oriente Antioqueño con baja competencia, dan a conocer diferentes especies vegetales que son aptas para ser cultivadas en la región y ofrecen productos actualmente escasos en el mercado a un menor precio.

Posteriormente, se describieron 5 prácticas sostenibles diferentes que podían ser aplicadas a la construcción de un invernadero y que, en conjunto, permitían que el sistema al interior del invernadero se constituyera como un sistema de ciclo cerrado, disminuyendo los impactos ambientales negativos de las prácticas agrícolas y menguando aún más los impactos asociados a la ingesta humana de proteína. Se cumplió, por tanto, con el objetivo propuesto de describir las prácticas sostenibles necesarias para la generación de un modelo de ciclo cerrado en invernadero para el cultivo de las especies vegetales previamente seleccionadas. Dicha búsqueda bibliográfica permitió identificar los beneficios aportados por dichas prácticas en términos ambientales para el desarrollo de actividades agrícolas, se determinó que eran compatibles entre sí, y aportó a la elaboración del prototipo que sería propuesto luego.

En la cuarta etapa, se llevó a cabo el diseño del prototipo del invernadero de ciclo cerrado para cultivos vegetales con alto contenido proteico en el Oriente Antioqueño (se empleó la sachá inchi como cultivo piloto). Esto cumplió con el objetivo propuesto de proponer especificaciones técnicas para el invernadero de ciclo cerrado de los cinco cultivos vegetales con alto contenido proteico seleccionados. Dicho diseño, brinda una alternativa sostenible para cultivar casi cualquier producto vegetal con el propósito de disminuir los impactos ambientales asociados a la producción agrícola y aplica el concepto de ciclo cerrado a esta industria; da lugar a una solución innovadora para las problemáticas ambientales asociadas a la agricultura, y aunque su diseño

está elaborado específicamente para las condiciones ambientales del Oriente Antioqueño, la idea general puede ser aplicada en diferentes partes del mundo.

Finalmente, haciendo uso del Análisis de Ciclo de Vida como herramienta para estimar los impactos ambientales asociados a la industria cárnica para la producción de proteína animal (específicamente de la ganadería) y al cultivo vegetal con alto contenido proteico en invernadero de ciclo cerrado propuesto, se compararon los impactos ambientales asociados a ambas industrias.

En esta etapa, se cumplió con el objetivo propuesto de evaluar en términos ambientales los impactos del proyecto en comparación con los sistemas de producción de carne de ganado vacuno. La obtención de dichos resultados ofrece un panorama más claro acerca de las implicaciones ambientales de la ganadería en contraste con la solución propuesta en el presente trabajo, brindando herramientas y datos necesarios para la toma de decisiones futuras en términos tanto de producción como de consumo. Los resultados obtenidos aportan al redireccionamiento del mercado y la economía, partiendo del conocimiento de que es necesario que las actividades antropogénicas comiencen a llevarse a cabo de las maneras menos nocivas posibles.

Cada una de las fases mencionadas previamente, aportó al cumplimiento del objetivo general de diseñar un cultivo vegetal con alto contenido proteico en un invernadero de ciclo cerrado como alternativa al consumo de carne de ganado vacuno bajo las condiciones ambientales del Oriente Antioqueño, el cual busca mediante una solución técnica e innovadora, brindar una opción más sostenible y amigable con el medio ambiente a la obtención de la proteína requerida por un ser humano para su subsistencia.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la población humana se encuentra en un punto crítico de su desarrollo. Los efectos de su comportamiento sobre el medio ambiente han conducido al deterioro y a la escasez de recursos, a la desestabilización de comunidades y a la inminente amenaza de todo el sistema social, político, económico y ecológico. A pesar de que los gobiernos, organizaciones internacionales y la población mundial en general ha comenzado a establecer metas y estrategias que mitiguen los impactos negativos de las acciones humanas, la necesidad de elaborar planes efectivos, inmediatos y viables es cada vez más urgente.

Una de las principales industrias que contribuye al deterioro ambiental es, sin lugar a dudas, la ganadería y la industria cárnica. En términos de calidad del aire, la producción de animales de granja aporta más gases de efecto invernadero que toda la industria de transporte a base de combustibles fósiles (Organización de las Naciones Unidas, 2006); también precisa un alarmante consumo del recurso hídrico, y la escorrentía resultante de los procesos involucrados contamina fuentes de agua como ríos, lagos, y mares; los suelos se ven seriamente afectados tanto mecánica como químicamente por la ganadería, que en conjunto con un uso desmedido e inadecuado del terreno, es causante del mayor porcentaje de deforestación en el mundo y por ende de pérdida de biodiversidad.

En Colombia, las oportunidades de obtener fuentes de proteína que no desciendan de origen animal son bajas debido a la escasa variedad de alternativas a la misma presentes en el mercado; la gran cantidad de los alimentos que sí pertenecen a éste suelen poseer un elevado costo gracias a su baja tasa de producción, por lo que muchos productos con estas características son importados. El mercado de alimentos colombiano se encuentra fundamentado en gran parte en la producción de carne de naturaleza pecuaria, avícola y porcina. Los cálculos actuales indican que para los próximos años tanto el consumo como la producción de carne ascenderán en Colombia y por tanto sus impactos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014).

Dado que Antioquia es el departamento con mayor producción ganadera del país (Contexto Ganadero, 2015), es seguro decir que juega un rol considerable en las problemáticas ambientales generadas por dichas actividades, por lo que es de crucial importancia encontrar alternativas más sostenibles a implementar en esta zona.

Consecuente con esta problemática, sería preciso identificar los impactos de la industria cárnica en el departamento antioqueño, particularmente en el Valle de San Nicolás, donde existe un considerable uso de este territorio para la práctica de la ganadería y la industria cárnica. Dar lugar a una mayor variedad de alternativas a la proteína animal en esta zona por medio del diseño de cultivos vegetales proteicos en

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

invernaderos sostenibles de ciclo cerrado facilitaría el acceso de proteínas vegetales a los consumidores.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un cultivo vegetal con alto contenido proteico en un invernadero de ciclo cerrado como alternativa al consumo de carne de ganado vacuno bajo las condiciones ambientales del Oriente antioqueño.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir impactos generales ambientales en el ciclo de vida de la industria cárnica y del ganado vacuno.
- Describir las especies vegetales no tradicionales con mayor contenido proteico que pueden ser cultivadas en el Oriente antioqueño.
- Describir las prácticas sostenibles necesarias para la generación de un modelo de producción agrícola en ciclo cerrado en invernadero para el cultivo de las especies vegetales previamente seleccionadas.
- Proponer especificaciones técnicas para el invernadero de ciclo cerrado de los cinco cultivos vegetales con alto contenido proteico seleccionados.
- Evaluar en términos sostenibles los impactos del proyecto en comparación con los sistemas de producción de carne de ganado vacuno.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 ANTECEDENTES

El campo de estudio e implementación de cultivos vegetales con alto contenido proteico en invernaderos de ciclo cerrado, aún es poco explorado y por tanto los conocimientos que se tienen acerca del mismo son limitados. A continuación, se darán a conocer algunas prácticas relacionadas:

En el libro *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos* (Tapia et al, 1979), se hizo una revisión de las fuentes de información sobre el origen y la distribución de los granos quinua y kañiwa, al igual que de sus aspectos genéticos, botánicos y de mejoramiento. Se dio a conocer también el valor nutricional del cultivo ante la evidencia de los análisis bromatológicos, basados en la calidad biológica de la proteína y su ubicación en la dieta de las poblaciones andinas. Además, se discute el aspecto económico de su producción y se señalan las posibilidades de transformar estos granos.

En el estudio *Cultivo de Sacha inchi* (Manco, 2006), realizado en Perú por el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria, en la estación experimental agraria “El Porvenir” en Tarapoto, se iniciaron las investigaciones asociadas al cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*), una planta que se encuentra distribuida desde América Central hasta Perú y que presenta altos contenidos en proteínas, amino ácidos, ácidos grasos esenciales y vitamina E, lo cual la hace una especie con particular importancia nutricional. El trabajo realiza actividades relacionadas a la colección, la caracterización y evaluación de esta planta en condiciones ex situ.

El campo de estudio e implementación de cultivos vegetales con alto contenido proteico en invernaderos de ciclo cerrado, aún es poco explorado y por tanto los conocimientos que se tienen acerca del mismo son limitados. A continuación, se darán a conocer algunas prácticas relacionadas con el proyecto que se han realizado previamente, y que pueden ser tomadas como base para el diseño del mismo.

En el artículo *Sistema de soporte a la toma de decisiones para procesos de germinación y cultivo en invernaderos* (Cobos et al, 2008) se describió un sistema que brinda información, gestión y soporte referente a las labores desarrolladas en el campo a agricultores, productores e investigadores. Dicho sistema, llamado GreenDSS, actúa como soporte a la toma de decisiones a nivel arquitectónico y funcional, utilizando tecnologías de bodegas de datos, procesamiento analítico en línea y minería de datos, con el fin de contribuir y mejorar la eficiencia y competitividad de los procesos agrícolas identificando y seleccionando los protocolos de cultivo más eficientes dentro de los invernaderos.

En la *Guía técnica para el cultivo del frijol*, un estudio realizado en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del departamento de Boaco, Nicaragua, se detallaron algunos de los aspectos relacionados con la producción de frijol en dicha región. Describe aspectos como la presiembra, la selección del terreno, la siembra, la selección de semillas, las etapas de desarrollo del cultivo y la cosecha. En cada

aspecto se realiza una explicación minuciosa de los métodos y prácticas más efectivas a seguir y la manera en la que deben ser llevados a cabo (García, 2009).

En el artículo *Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo* (López, 2013), se realizó una investigación con el fin de brindar información necesaria para la implementación de cultivos altamente proteicos en zonas rurales. Se trabajó con la cepa *Spirulina platensis* (una microalga conocida por su alto valor nutritivo), en Arica, cerca del norte de Chile, en una planta piloto. Se utilizó un sistema de estanques abiertos, en instalaciones de tipo invernadero, con agitadores electromagnéticos de baja potencia. Los resultados apuntaron a costos de producción inferiores a la mitad de lo que cuesta la carne de res de la mejor calidad, concluyendo así que los cultivos de este tipo en zonas rurales son productivos y eficaces.

El trabajo de grado *El árbol moringa (Moringa oleífera lam.): una alternativa renovable para el desarrollo de los sectores económicos y ambientales de Colombia* (Castro, 2013) propone el desarrollo de plantaciones del árbol moringa en Colombia buscando el aprovechamiento de las propiedades que ofrece la planta en los sectores energético, tratamiento y saneamiento básico del agua, restauración de suelos degradados, aprovechamiento agroindustrial y farmacéutico, con el propósito de generar empleo como alternativa sostenible en equilibrio con el medio ambiente.

Otro artículo relacionado con el cultivo de vegetales en invernadero es el de *Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en Invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana*, un trabajo desarrollado en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la Biodiversidad Amazónica (CIPCA) perteneciente a la Universidad Estatal Amazónica (UEA), del Ecuador, ubicado en el Cantón Arosemena Tola de la Provincia Napo. Se basó en el estudio de los indicadores productivos y morfológicos del tomate SYTA bajo condiciones de invernadero y con el uso de compost y fertilizante foliar. Las semillas se instalaron en bandejas de 128 alvéolos con sustrato comercial a base de turba. Se pudo observar que los indicadores morfológicos poseen un buen desarrollo general en estas condiciones, del mismo modo, se demostró que las plantas de tomate SYTA en la Amazonía ecuatoriana logran producciones en el orden de los indicadores obtenidos en otras regiones (Pérez et al, 2016).

El reporte investigativo *Cultivos en ciclo cerrado* (2011), formulado por estudiantes de la universidad EAFIT, abarca el tema de la degradación de los suelos a causa de la agricultura elaborando un sustrato artificial apropiado para ser el soporte al cultivo de plantas. Este sustrato tiene como función retener y dosificar las cantidades de agua y nutrientes necesarias para el desarrollo vegetal. El sustrato es fabricado a partir de una variedad de residuos orgánicos, como fangos de papeleras, de industria agroalimentaria, de depuración de aguas residuales urbanas, aceites de corte de industria metalúrgica, lodos de pintura, impresoras, etc., permitiendo un ciclo cerrado al aprovechar estos residuos y reinsertarlos en un proceso productivo. Además, se habla del empleo de CO₂ proveniente de gases de combustión como acelerador a la acción fotosintética, potenciando de esta manera el crecimiento de las plantas.

Los estudios previamente expuestos brindan algunas herramientas útiles que pueden ser empleadas para el diseño de los cultivos vegetales con alto contenido proteico en

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

invernadero y brindan un panorama más sólido de la realidad a la que está sujeta el proyecto, los posibles obstáculos y oportunidades, así como las técnicas más adecuadas para llevar a cabo el cultivo de ciertos alimentos vegetales bajo determinadas condiciones.

1.3.2 MARCO TEÓRICO

El proyecto de sistemas de producción y consumo sostenible de reemplazos a la proteína de origen animal integra varias prácticas y elementos. A continuación, se dan a conocer los conceptos claves del presente proyecto.

La industria cárnica es el origen de muchos de los problemas ambientales que se enfrentan actualmente. La industria cárnica se refiere a los procesos, actividades e infraestructuras necesarias para la producción de la proteína de origen animal y la comercialización de los animales de ganadería destinados al consumo alimenticio. Incluye las actividades de sacrificio del animal (principalmente res, cerdo, pollo, y pescado); el procesamiento de la carne una vez extraída; y el transporte y distribución del producto final a centros de consumo.

Esta industria utiliza la carne, procedente del sacrificio animal, como materia prima en la producción de alimentos para el consumo principalmente humano y para otros animales domésticos. El proceso comienza en el matadero con la ejecución de los animales y el deshuesado de los cadáveres, para luego dividir el mismo en cortes estándares. Algunos de éstos son dirigidos directamente al mercado, mientras otros son sometidos a tratamientos adicionales antes de ser comercializados (Amerling, 2002).

La ganadería es la parte inicial del proceso productivo de carne bovina, y puede definirse como una actividad agraria y económica, que consiste en la cría, manejo y explotación de animales domésticos con el fin del aprovechamiento de los productos derivados de los mismos mediante ciertos procesos productivos para el beneficio humano.

Según la especie ganadera se pueden obtener diferentes productos derivados, como carne, leche, huevos, lana, piel y miel, entre otros. Los tipos de ganado más numerosos a nivel mundial son el bovino, ovino y porcino. Sin embargo, esto varía dependiendo de la región, en algunos lugares, por ejemplo, predomina el equino y el caprino, así como la avicultura, apicultura y cunicultura.

La ganadería se encuentra estrechamente ligada con la agricultura puesto que algunos materiales subproductos de la actividad agrícola pueden ser empleados en los procesos de producción animal, del mismo modo en el que algunos desechos animales pueden ser utilizados como materia prima en los cultivos (Enciclopedia del Estudiante, 2005).

Este proyecto busca proponer una solución a los problemas ambientales causados por la industria cárnica, específicamente el sistema productivo de carne bovina, el cual incluye como punto inicial a la ganadería.

Sin embargo, no es posible eliminar la producción y el consumo de carne sin ofrecer una alternativa al valor proteico que ésta proporciona a la dieta humana. Las proteínas son biomoléculas que consisten de una o más cadenas de aminoácidos. Su presencia en la dieta humana es de suma importancia, pues llevan a cabo varias actividades en una multitud de procesos celulares, como la transmisión de señales

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

entre células, la proporción de soporte estructural a nivel micro y macro en el cuerpo, la catálisis de reacciones químicas cuando se encuentran en forma enzimática, entre muchas otras.

Las proteínas usadas por los seres vivos en sus procesos internos se componen por innumerables combinaciones de veinte aminoácidos principales. La mayoría de los microorganismos y organismos vegetales pueden sintetizar los veinte aminoácidos, pero los animales sólo pueden sintetizar algunos, por lo que deben complementar su dieta con fuentes de proteína externas (University of Maryland Medical Center, 2013). La opción que el proyecto propone para la obtención de proteína para consumo humano es la vegetal obtenida a partir de cultivos vegetales alternativos.

El concepto de cultivo alternativo es un término muy relativo cuyas especificaciones varían según la región en la que se trabaje. Puede definirse en términos generales como un cultivo que sustituye o complementa aquellos que ya se encuentran presentes, desarrollados y popularizados en la locación. Dichos cultivos pueden buscar diferentes objetivos, como satisfacer necesidades no cubiertas, proporcionar alternativas de consumo a las opciones presentes en el mercado actual, mejorar la calidad nutricional de la población, incrementar la rentabilidad y la calidad de los productos, reducir impactos ambientales generados por los hábitos de consumo existentes, entre otros (Torres, s.f.).

Debido a que el proyecto tiene por objetivo disminuir los impactos negativos ambientales causados por la producción y consumo de proteína, es de suma importancia que la alternativa propuesta sea ejecutada mediante los parámetros de la agricultura ecológica. Ésta se define como “Todos los sistemas agrícolas que promueven la producción ambiental, social y económicamente sostenible de alimentos, los cuales debe ocurrir sin la utilización de insumos de síntesis química y tomando la fertilidad del suelo como un elemento fundamental para la producción exitosa, respetando la capacidad natural de las plantas, los animales y los suelos, para optimizar la calidad en todos los aspectos de la agricultura y el ambiente.” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, s.f.).

La agricultura ecológica es un sistema de cultivo alternativo basado en la utilización óptima de los recursos naturales y en la reducción significativa de los impactos ambientales negativos por parte de prácticas agrícolas, con el objetivo de producir alimentos orgánicos de mayor calidad nutricional al tiempo que se conservan las condiciones naturales del suelo y del aprovechamiento sostenible de los bienes del entorno.

Este tipo de agricultura aplica métodos agronómicos, mecánicos y biológicos, en contraposición a la utilización de materiales sintéticos, sin la presencia de sustancias de síntesis química, para desempeñar cualquier función específica del sistema.

Una de las prácticas sostenibles seleccionadas para la implementación de una agricultura ecológica es la producción en ciclo cerrado, también llamada producción de cero residuos. Ésta se refiere a un proceso productivo en el cual los residuos generados no se desperdician. Por el contrario, se busca que los residuos se reinserten en el proceso, en ocasiones tras algún tipo de transformación para optimizar

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

su potencial de aprovechamiento, de manera que nunca salen del sistema como pérdida o desperdicio. Esta técnica de producción más limpia no sólo reduce los desperdicios generados, sino que disminuye las materias primas que se deben adquirir ya que los residuos producidos se convierten en insumos.

Los resultados de este proyecto se evaluarán mediante la implementación del análisis de ciclo de vida. El análisis de ciclo de vida es un método empleado para identificar, evaluar, cuantificar e interpretar los impactos ambientales generados por la elaboración de un producto o por el funcionamiento de un sistema. Este instrumento no incluye cifras precisas para expresar la verdad ecológica absoluta, sin embargo, permite reconocer los puntos críticos a lo largo de toda la cadena productiva, con el fin de que sean corregidos o modificados y que se puedan reducir los impactos (Cadavid, s.f.).

El análisis de ciclo de vida permite identificar, en este caso, los eslabones en la producción de carne de origen bovino que deben ser tenidos en cuenta en la evaluación del impacto ambiental de esta industria, identificando los recursos utilizados y las emisiones y desechos generados.

En el presente proyecto, se hará uso de esta herramienta con el fin de comparar los impactos ambientales generados por la ganadería de bovinos con los impactos ambientales generados por un cultivo vegetal en invernadero de ciclo cerrado, cuyo diseño será propuesto posteriormente.

Todos los aspectos descritos previamente deben ser tenidos en cuenta al momento de la implementación del proyecto con el fin de que se garantice el cumplimiento de los objetivos establecidos. Todos estos elementos deben integrarse de manera conjunta para la edificación del proyecto, asegurando la calidad y viabilidad del mismo.

1.3.3 MARCO LEGAL

1. Requerimientos sanitarios para cultivos

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de la República de Colombia, estableció un “Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaque, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de Productos Agropecuarios Ecológicos”, en el que se pueden evidenciar ciertas condiciones legales para la producción de alimentos vegetales en el país en el Capítulo III, que hace referencia al componente agrícola (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, s.f.)

2. Requerimientos para la construcción de invernaderos

“De acuerdo con el Decreto - Ley 2150 de 1995, la Ley 388 de 1997, y el Decreto 1052 de 1998, para adelantar obras de construcción, ampliación, modificación y demolición de edificaciones es requisito previo, solicitar la respectiva licencia de construcción.

En concordancia con las normas expresadas, el numeral 14 del artículo 4 de la Ley 400 de 1997 define “edificación” como la construcción cuyo uso primordial es la habitación u ocupación por seres humanos. Agrega la misma Ley 400/97 que todas las edificaciones convencionales que se adelanten en el territorio nacional deberán sujetarse a las normas vigentes de sismo resistencia. Así mismo establece que corresponde a las autoridades competentes para expedir las licencias de construcción verificar que los proyectos o planos de las construcciones cumplan con dichas normas.

Por otra parte, la instalación de toldos, cobertizos, carpas o similares que están soportados y armados con plásticos u otros materiales livianos que son fácilmente instalados o desmontados en cualquier espacio sin generar ningún tipo de detrimento en el terreno, que pueden actuar como invernaderos y que tienen como función básica proteger los cultivos, áreas o espacios de las inclemencias del clima; no se pueden clasificar como edificaciones, sino como una técnica de cultivo o de protección, que generalmente es utilizada para la siembra a cielo abierto o para otras actividades al aire libre y, en consecuencia, no ameritan la exigencia de una licencia de construcción.

En caso contrario, cuando las estructuras o edificaciones son construidas en materiales tradicionales o prefabricados que conllevan la aplicación de normas constructivas y de sismo - resistencia; y por tanto deben garantizar la seguridad de quienes lo habitan, se consideran edificaciones y por tanto sí requieren la respectiva licencia de construcción.” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004)

2. METODOLOGÍA

A continuación, se llevará a cabo una descripción del marco metodológico que se ejecutó para la realización del proyecto y el cumplimiento de los objetivos. La metodología se dividió en cinco fases correspondientes a los objetivos planteados.

2.1 IMPACTOS AMBIENTALES GENERALES DE LA INDUSTRIA CÁRNICA

2.1.1 Revisión bibliográfica del análisis de ciclo de vida de la industria cárnica.

Se realizó una búsqueda bibliográfica de diferentes estudios (8 estudios) en los que se evaluó el impacto ambiental de la industria cárnica de bovinos mediante un análisis de ciclo de vida en diferentes regiones del mundo.

2.1.2 Análisis y conclusiones de los estudios analizados.

Se elaboró un análisis comparativo de los resultados obtenidos en cada uno de los ocho estudios y finalmente se presentó una conclusión general.

2.2 ESPECIES VEGETALES CON ALTO CONTENIDO EN PROTEÍNA

2.2.1 Bibliografía de especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico aptas para su cultivo en el Oriente Antioqueño.

Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica con base en la cual, se dieron a conocer las características generales de diferentes vegetales no tradicionales con alto contenido proteico (14 especies vegetales), con el objetivo de presentar una gama de posibles opciones a cultivar en el invernadero de ciclo cerrado propuesto.

2.2.2 Priorización y selección de cinco especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico.

Se seleccionaron cinco de las catorce especies vegetales como las más aptas para ser cultivadas en el invernadero de ciclo cerrado mediante una tabla de priorización, en la cual se tuvo en cuenta la cantidad de proteína presente en el vegetal; frecuencia con la que se cultiva el producto en el Oriente Antioqueño; frecuencia del producto en el mercado del Oriente Antioqueño; el precio promedio al que se comercializa en el Oriente Antioqueño o Medellín; la aptitud del cultivo (esta variable toma en consideración la dificultad con la que se cultiva el vegetal en términos de recursos y requerimientos especiales y las condiciones ambientales del Oriente Antioqueño que deben estar en armonía con las necesarias para el desarrollo del cultivo) y por último, rendimiento del cultivo (este toma en consideración la cantidad producida por hectárea a lo largo de un año).

La calificación varió de 1 a 5, siendo 1 la mínima calificación y 5 la máxima. A mayor cantidad de proteína presente en el vegetal mayor puntaje; si la frecuencia de producción del cultivo y de comercialización del producto en el Oriente Antioqueño es baja, tendrá también un mayor puntaje; a mayor precio de venta, mayor puntaje; finalmente a mayor aptitud del cultivo y mayor rendimiento, mayor puntaje.

Se buscó que los cinco productos seleccionados presentaran una mayor cantidad de proteína, en cuyo caso serían más apropiados para ser presentados como alternativa al consumo de carne de res; en la medida en que los cultivos y las ofertas sean menos frecuentes en el Oriente Antioqueño y el producto sea más costoso en el mercado, la producción local por medio del invernadero propuesto disminuirá los precios comúnmente establecidos en un mayor grado y brindará una mayor diversificación del mercado de productos vegetales con contenido proteico en el sector; los cultivos cuya producción sea menos compleja y en los cuales exista la posibilidad de generación en el Oriente Antioqueño incrementarán la viabilidad del proyecto; y por último, el rendimiento es una variable clave para asegurar una mayor producción a una velocidad más acelerada.

2.2.3 Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.

Se llevó a cabo un análisis de los resultados obtenidos en la Tabla 3 (Tabla de priorización), identificando las cinco especies vegetales cuyo cultivo es el más apropiado para el cumplimiento del objetivo del presente trabajo.

2.3 PRÁCTICAS SOSTENIBLES NECESARIAS PARA LA GENERACIÓN DE UN MODELO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN CICLO CERRADO.

2.3.1 Bibliografía de prácticas sostenibles agrícolas para la generación de un modelo de producción en ciclo cerrado.

Se realizó una búsqueda bibliográfica de las prácticas que se deseaban implementar en el invernadero de ciclo cerrado propuesto con el objetivo de identificar su modo de operación y beneficios ambientales. Dichas prácticas fueron: biodigestión, compostaje, biopesticidas, recolección de agua lluvia y fertilización carbónica.

2.3.2 Análisis y conclusiones de la bibliografía de prácticas sostenibles.

Se llevó a cabo un análisis de la bibliografía de las cinco prácticas sostenibles seleccionadas: biodigestión, compostaje, biopesticidas, recolección de agua lluvia y fertilización carbónica, con el propósito de identificar si las mismas eran aptas para la elaboración de un modelo piloto de un cultivo en invernadero de ciclo cerrado.

2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERNADERO DE CICLO CERRADO.

2.4.1 Bibliografía de las especificaciones técnicas de cultivo para las cinco especies vegetales seleccionadas.

Se realizó una búsqueda bibliográfica con base en la cual se dieron a conocer las especificaciones técnicas para el cultivo de las cinco especies vegetales con alto contenido proteico seleccionadas previamente (alfalfa, quinua, sachá inchi, bayas de goji y maca), teniendo en cuenta las condiciones de riego, condiciones ambientales, condiciones de sustrato y control fitosanitario de cada una.

2.4.2 Modelo piloto.

Se dieron a conocer las especificaciones técnicas de un invernadero de ciclo cerrado ubicado en el Oriente antioqueño propuesto con el objeto de reducir los impactos ambientales asociados al consumo humano de proteína, teniendo en cuenta las prácticas sostenibles descritas con anterioridad y la información recolectada de las condiciones de riego, condiciones ambientales, condiciones de sustrato y control fitosanitario.

No se incluyeron los procesos posteriores a la recolección del fruto, es decir, no se tomaron en consideración su transformación en el producto comercial que será finalmente empleado por el consumidor como reemplazo a la carne en términos de proteínas.

2.5 COMPARACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

2.5.1 Unidad funcional.

Se definió la unidad funcional más adecuada para el consumo mínimo diario de proteína requerido por una persona adulta.

2.5.2 Análisis de inventario

Se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida correspondiente para cada uno de los procesos productivos de proteína, tanto de la ganadería de ganado vacuno como del modelo piloto de cultivo de vegetales con alto contenido en proteína, específicamente de la sachá inchi.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto. La presentación de los resultados se divide en cinco fases, cada una de las cuales se subdivide a su vez en diferentes actividades que buscan cumplir con los cinco objetivos específicos propuestos en un inicio. Al final de cada fase se presentan los análisis y las conclusiones asociadas a la misma.

3.1 IMPACTOS AMBIENTALES GENERALES DE LA INDUSTRIA CÁRNICA

La carne es considerada como la principal fuente de proteína en la alimentación de la población a nivel global en la actualidad. La producción de carne juega un papel fundamental en las esferas económica y social. El desarrollo y la innovación en el sector dan lugar a diversas oportunidades para el progreso agrícola, la seguridad alimentaria, la generación de empleos y la reducción de la pobreza; sin embargo; su crecimiento desmedido y acelerado, conlleva a su vez a implicaciones ambientales y sociales, como el agotamiento y la contaminación de los recursos naturales, afectaciones en la salud humana y la marginalización de los pequeños agricultores, amenazando la estabilidad tanto de las comunidades como del medio ambiente en general (FAO, 2018).

La res juega un papel protagónico en el mercado y el consumo de carne en el mundo, por tanto, la industria cárnica y la ganadería de bovinos ha continuado creciendo a un ritmo acelerado buscando suplir la progresiva demanda de los alimentos derivados de la misma. Sin embargo, las condiciones limitadas de pastoreo y la escasez de suministros obstaculizan la producción.

El incremento en las exportaciones es uno de los principales motores en las regiones de producción tradicional. Los países importadores han estado buscando invertir en el suministro de carne de bovino. Se espera que dicha tendencia continúe en el 2018. Algunos exportadores están buscando la diversificación regional de la producción, para garantizar que el suministro no se interrumpa y capitalizar las diferentes ventajas regionales (Rabobank, 2008).

Según las estadísticas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y la Agencia para el Servicio Agrícola Exterior (FAS, por sus siglas en inglés), en el 2018 la producción mundial de carne bovina aumentará casi un 2% a 62.6 millones de toneladas con Estados Unidos y Brasil aportando cerca del 50% del total. Por otro lado, se predice que las exportaciones de carne de bovino en el 2018 incrementarán casi al 3%, a 10.1 millones de toneladas, siendo los principales países exportadores Estados Unidos, Australia, Brasil y Argentina (citado en USDA, 2017).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En Colombia, la producción de carne bovina representa un papel importante en la economía, dinamiza el mercado a nivel tanto nacional como internacional y activa la generación de empleos. La ganadería en el país aporta aproximadamente el 20% del PIB agropecuario y el 53% del PIB pecuario, adicionalmente, es uno de los productos con mayor peso en el IPC y juega un papel protagónico en la dieta de los colombianos (DANE, 2012).

La cadena productiva de carne bovina en Colombia ha permanecido relativamente estable durante los últimos años. Según la Encuesta de Sacrificio de Ganado (ESAG) del DANE, entre el 2016 y el 2017 la variación anual y participación del sacrificio de ganado bovino disminuyó un 3.3%. En el trimestre julio – septiembre de 2017 se sacrificaron 843.491 cabezas de ganado vacuno, de las cuales 822.975 fueron destinadas para el consumo interno y 20.516 destinadas a exportación. Las mayores participaciones en el sacrificio de ganado vacuno se registraron en Bogotá (15,8%), Antioquia (15,6%) y Córdoba (8,4%). La producción de peso en pie y de peso en canal en dicho período fue de 359.434 toneladas y de 188.578 toneladas respectivamente, éste último corresponde a un rendimiento promedio nacional del 52.5% (DANE, 2018).

La cadena de producción de carne bovina en Colombia se define como “el conjunto de actividades que se articulan técnica y económicamente desde el inicio de la producción y elaboración, en este caso de la carne bovina, hasta su comercialización y colocación al consumidor final” según la Ley 811 de 2003.

Esta industria se encuentra conformada por cuatro eslabones (Espinal, Martínez, & Acevedo, 2005):

1. Producción:

La producción del ganado inicia con la cría, el levante y la ceba de la res. Dicha producción se realiza bajo ciertos criterios de clasificación en el país. El primer criterio de diferenciación corresponde a la madurez del animal y se cataloga de la siguiente manera (Encuesta Nacional Agropecuaria, 2017):

- a. Ternero/Ternera: primeros 12 meses de vida.
- b. Novillo/Novilla: entre los 12 y los 24 meses de vida.
- c. Vaca/Toro: a partir de los 24 meses de vida en adelante.

El segundo criterio de diferenciación hace referencia a la destinación del ganado, agrupados de la siguiente manera (Superintendencia de Industria y Comercio, s.f.):

- a. Ganadería de leche: individuo destinado a la producción específica de leche.
- b. Ganadería de carne: individuo destinado a la producción específica de carne.
- c. Ganadería de doble utilidad: individuo destinado a la producción de leche y de carne.

2. Comercialización:

Corresponde a la negociación y venta del ganado en pie.

3. Industrialización:

Se realiza el sacrificio del animal para luego dar lugar al desposte, el corte, la

refrigeración y congelación de la carne. Según el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGR) se estipularon cuatro sistemas de comercialización de ganado luego del sacrificio:

- a. Báscula.
- b. Subasta ganadera.
- c. Feria de ganados.
- d. Carne en canal.

4. Distribución:

Los productos obtenidos son distribuidos a través de la cadena de mercado de alimentos para ser ofrecidos al consumidor.

En Colombia, las principales razas de bovinos empleadas para la producción de carne están conformadas *Bos indicus* y *Bos taurus*, especializadas para dicho fin (Uribe F., et al., 2011) citado en (DANE, 2016).

Las políticas y normas para la inocuidad en la producción de carne y leche con bovinos en el país están reglamentadas por el Ministerio de la Protección Social y reguladas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (DANE, 2016).

El siguiente proyecto se enfoca directamente en la producción de carne bovina a partir de la ganadería de carne (ni ganadería de leche ni ganadería doble propósito), con el fin de acotar el alcance y brindar una solución direccionada a una problemática específica.

La industria cárnica es una de las principales contribuyentes en la degradación del medio ambiente en la actualidad tanto a escala local como global y es responsable de gran parte del desbalance existente entre las comunidades y su entorno natural. Según estudios realizados por la FAO (Steinfeld, et al., 2006), la producción de carne es responsable de gran parte del cambio climático, el agotamiento del recurso hídrico, la contaminación, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.

El cambio climático es, actualmente, la mayor problemática ambiental a la que se enfrenta el ser humano. El aumento en la temperatura de la tierra trae consigo consecuencias devastadoras como el deshielo de los glaciares y por ende el aumento del nivel del mar, cambios abruptos en el clima, desestabilización de ecosistemas enteros y por ende de las comunidades que subsisten en ellos.

La ganadería es responsable de alrededor del 18% de la emisión de gases de efecto invernadero, que equivale a un porcentaje mayor que el atribuido al sector de transporte en todo el mundo. El sector aporta el 9% de las emisiones de CO₂ generadas por el ser humano, causadas en gran medida por la deforestación de los bosques empleados para el pastoreo y los cultivos para el sustento de los animales. Contribuye también con el 37% de las emisiones de metano, un gas con un potencial de efecto invernadero 23 veces mayor al CO₂, producido en el proceso de digestión de los rumiantes; con el 65% de las emisiones de óxido nitroso, que es 296 veces más contaminante que el CO₂; y con el 65% de las emisiones de amoníaco, responsable en gran parte de la generación de la lluvia ácida y de la acidificación de los ecosistemas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El desgaste del recurso hídrico es también una amenaza global para el ser humano y las demás especies, por ser este recurso indispensable para la vida. Se estima que para el 2025, el 64% de la población mundial sufrirá la falta del agua para el abastecimiento de sus necesidades básicas.

La industria cárnica requiere de grandes cantidades de agua a lo largo de toda la cadena productiva, especialmente en el riego de los cultivos destinados para el consumo del ganado. Alrededor del 8% del agua dulce total empleada con fines antropogénicos es distribuida para esta industria. Adicionalmente, la industria cárnica es autora de una importante fracción de la contaminación en el recurso hídrico. Debido a la enorme generación de desechos por parte de esta práctica; entre los cuales se encuentran principalmente trozos de los animales ya sacrificados, antibióticos, hormonas, fertilizantes y pesticidas; se ocasionan grandes problemáticas ambientales como la eutrofización de ríos y lagos, las “zonas muertas” en los océanos, problemas a la salud humana en comunidades, resistencia de las enfermedades a los antibióticos, entre otras.

Adicionalmente, la actividad ganadera y la producción de carne reduce la posibilidad de renovar las fuentes del recurso hídrico debido a que la compactación del suelo no permite la infiltración de agua y por ende impide el reabastecimiento de las cuencas de agua subterránea y secando y las llanuras de inundación.

El mayor porcentaje de suelo explotado por el hombre es empleado para las actividades ganaderas. La ganadería ocupa el 70% del suelo destinado a fines agrícolas, y el 30% del total de la superficie terrestre. Estas tierras son previamente quemadas y acondicionadas para luego ser utilizadas en la concepción de sistemas extensivos de pastoreo y de cultivos para el abastecimiento y engorde del animal.

Debido a esto, la ganadería es la principal causante de la deforestación en el mundo, especialmente en América Latina, donde la selva amazónica es una de las regiones más afectadas y cuyo valor ecológico ocupa un lugar increíblemente significativo a nivel global. Adicionalmente, puesto que los nutrientes aportados al suelo generalmente provienen de la flora en descomposición, la ausencia de árboles en las áreas invadidas por la ganadería acarrea suelos estériles, erosionados y muy compactos debido a la pisada constante y robusta del animal sobre el mismo. Por tales motivos, habitualmente estos suelos no pueden ser recuperados y se pierde para siempre el depósito de biodiversidad que abundaba previamente en la zona, el daño ambiental causado por este impacto es en gran medida irreversible.

La biodiversidad juega un papel muy importante en el equilibrio y la estabilidad del gran complejo de interacciones existentes entre las diferentes formas de vida y su medio. Dicho equilibrio permite el desarrollo de las actividades humanas y el bienestar de la población a todos los niveles: económico, social, cultural, ecológico y tecnológico. En la actualidad, la extinción masiva de especies por culpa del hombre ha alcanzado un grado alarmante.

Uno de los actores más importantes en la pérdida de biodiversidad es la ganadería y la industria cárnica. Según la FAO, alrededor del 20% de la biomasa animal terrestre corresponde al ganado. La pérdida de biodiversidad es una consecuencia derivada de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

la contaminación, el cambio climático, la deforestación y destrucción del hábitat, y las especies invasivas, en la que participa activamente la industria cárnica.

Sin lugar a dudas la industria cárnica acarrea una larga serie de impactos ambientales negativos de proporciones globales. El deterioro del medio ambiente es una problemática que hoy por hoy ya ha rebasado los límites y que requiere de una drasticidad sin precedentes. Si lo que se desea es asegurar el futuro y el bienestar de la humanidad las medidas a tomar para la mitigación de los mismos son de carácter urgente y necesitan de soluciones eficaces que sean llevadas a cabo de inmediato. Es preciso recordar que existen múltiples maneras de abordar el problema y que el cambio positivo hacia un mejor manejo de los recursos naturales, más equilibrado y consciente, aún es posible (Steinfeld, et al., 2006).

3.1.1 Revisión bibliográfica del análisis de ciclo de vida de la industria cárnica

Se presentarán a continuación diferentes estudios en los que se evaluó el impacto ambiental de la industria cárnica de bovinos mediante un análisis de ciclo de vida en diferentes regiones del mundo.

- **Comparación de los impactos ambientales de los productos pecuarios: una revisión del análisis de ciclo de vida (Estudio 1) (de Vries & de Boer, 2009).**

Se realizó una investigación en el año 2009 cuyo objetivo era comparar los impactos ambientales generados por los diferentes productos pecuarios mediante el análisis de ciclo de vida. Se revisaron 16 estudios que examinaban los impactos de la producción de carne de res, cerdo y pollo, y de algunos productos derivados de animales de granja como los huevos y la leche. Los resultados del análisis de ciclo de vida de cada uno de los 16 estudios fueron expresados tres maneras: por kg de producto, por kg de proteína y por kg de ingesta diaria promedio de cada producto para un país de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Los impactos ambientales examinados fueron: uso de tierra y energía, aporte al cambio climático, eutrofización y acidificación, aunque para estos dos últimos no se encontró un patrón claro en las conclusiones de los estudios.

La producción de 1 kg de carne de res fue la autora del mayor uso de tierra y energía, así como de la mayor cantidad de emisiones de efecto invernadero, seguido de la producción de cerdo, pollo, huevos y leche respectivamente. Es por esto que se concluyó que la carne de res es la principal responsable del deterioro ambiental dentro de las categorías analizadas en el estudio, seguida de la carne de cerdo y finalmente de pollo. Las variaciones del impacto ambiental en los resultados obtenidos entre los tres tipos de carne tomados en consideración, pueden deberse a tres factores: diferencias en las tasas de reproducción, diferencias en la eficiencia de la alimentación y diferencias en las emisiones de metano entérico (CH₄) entre rumiantes y monogástricos. Únicamente un estudio realizó la comparación entre la producción de carne de cualquier naturaleza y la producción de leche y huevos, por ende, se

concluyó que se requería de estudios adicionales para arrojar resultados más verídicos.

La producción de 1 kg de carne de res requiere entre 27 y 49 m² de tierra, valores muy superiores a los necesarios para la producción de 1 kg de cerdo, pollo, leche o huevos (Ver figura 1).

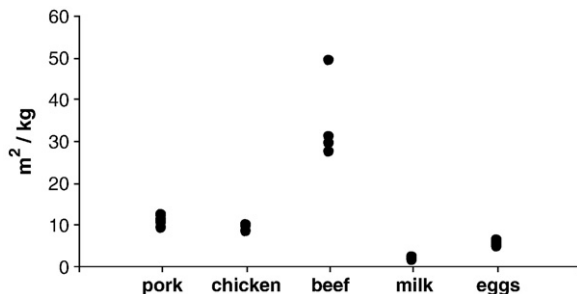


Figura 1. Uso de la tierra para productos pecuarios (en m² / kg de producto). Fuente: (de Vries & de Boer, 2009).

La energía necesaria para producir 1 kg de carne de res varía entre 34 y 52 MJ, valores superiores a los necesarios para la producción de 1 kg de carne de cerdo y pollo, y a los de 1 kg producido de leche y huevos. (Ver Figura 2)

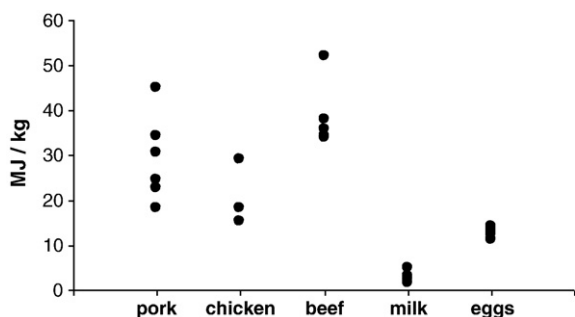


Figura 2. Uso de energía para productos ganaderos, en MJ por kg de producto. Fuente: (de Vries & de Boer, 2009).

La producción de 1 kg de carne de res produce entre 14 y 32 kg de CO₂-e, valores significativamente superiores a los aportados por la producción de cerdo, pollo, leche y huevos. (Ver Figura 3)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 3. Potencial de calentamiento global para productos pecuarios, en CO₂-e expresado por kg de producto. Fuente: (de Vries & de Boer, 2009).

El potencial de acidificación en la producción de 1 kg de carne de res varió entre 0.01 y 0.057 kg de SO₂-e, y el potencial de eutrofización varió entre 0.007 y 0.022 kg de PO₄-e; valores similares a los obtenidos para la producción de carne de cerdo, y superiores a los obtenidos para la producción de pollo, leche y huevos (Ver figura 4).

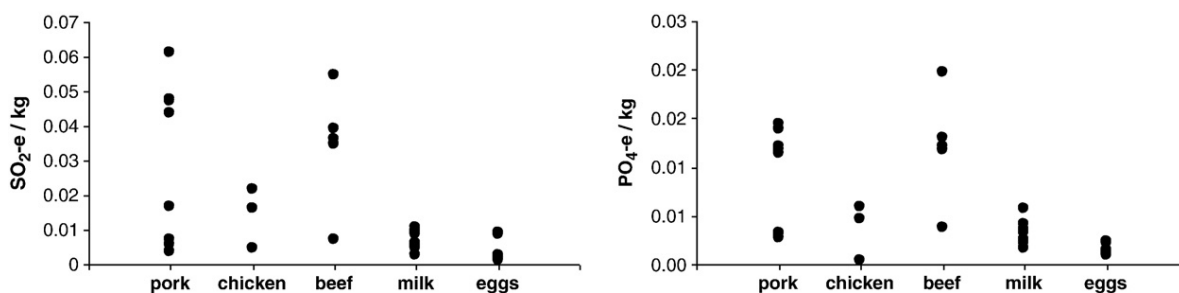


Figura 4. Potencial de acidificación (AP, en kg SO₂-e) y potencial de eutrofización (EP, en kg PO₃-e) para productos pecuarios, por kg de producto. Fuente: (de Vries & de Boer, 2009).

- **Evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de carne en el oeste de Canadá: un caso de estudio (Estudio 2) (Beauchemin, Janzen, Little, McAllister, & McGinn, 2010).**

En el oeste de Canadá, en el año 2010, se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida de los gases de efecto invernadero provenientes de la producción de carne de ganado bovino. El estudio buscaba identificar la contribución respectiva de los sistemas de producción “vaca-ternero” y “feedlot” en la generación de gases de efecto invernadero. El sistema vaca-ternero es un método para la crianza de ganado de carne en el cual se producen terneros para la venta a partir de un hato de vacas, diferente del sistema de feedlot que consiste en engordar al ganado en corrales donde se alimentan en grandes comederos.

El estudio simuló una granja que contaba con 120 vacas, 4 toros y su descendencia, tierras de cultivo y praderas de pastoreo. El análisis de ciclo de vida se efectuó a lo largo de 8 años, considerado éste periodo de tiempo como la vida útil de las vacas, los toros y la progenie, comenzando con el nacimiento del plantel reproductor, pasando

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

por todos los ciclos de producción de la carne y finalizando con el sacrificio del plantel reproductor inicial y el nacimiento de sus reemplazos. El estudio se realizó empleando Holos, un modelo de granja canadiense y programa de software que estima las emisiones de gases de efecto invernadero bajo la escala y condiciones de este país. Este modelo considera las emisiones y remociones de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O), las emisiones de la fabricación de insumos (fertilizantes, herbicidas) y las emisiones de óxido nitroso derivadas del nitrógeno aplicado a la granja. El análisis de ciclo de vida estimó que en la producción de 1 kg de carne se generan 22 kg de CO_2 . Según los resultados del estudio, el metano entérico fue el principal contribuyente, aportando el 63% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero, seguido por el óxido nitroso del estiércol y del suelo, que aportó el 27% del total de las emisiones, mientras el metano del estiércol y el CO_2 de la energía contribuyeron en menor grado. El sistema vaca-ternera generó el 80% del total de las emisiones, mientras el sistema feedlot únicamente aportó el 20%. Sin embargo, el estudio concuerda en que la producción de carne por medio del sistema vaca-ternera puede llegar a poseer beneficios ambientales adicionales, como la retención del CO_2 en el suelo, conservación del hábitat, la biodiversidad y la calidad del agua, que no fueron tenidos en cuenta en la elaboración del estudio (Ver figura 5).

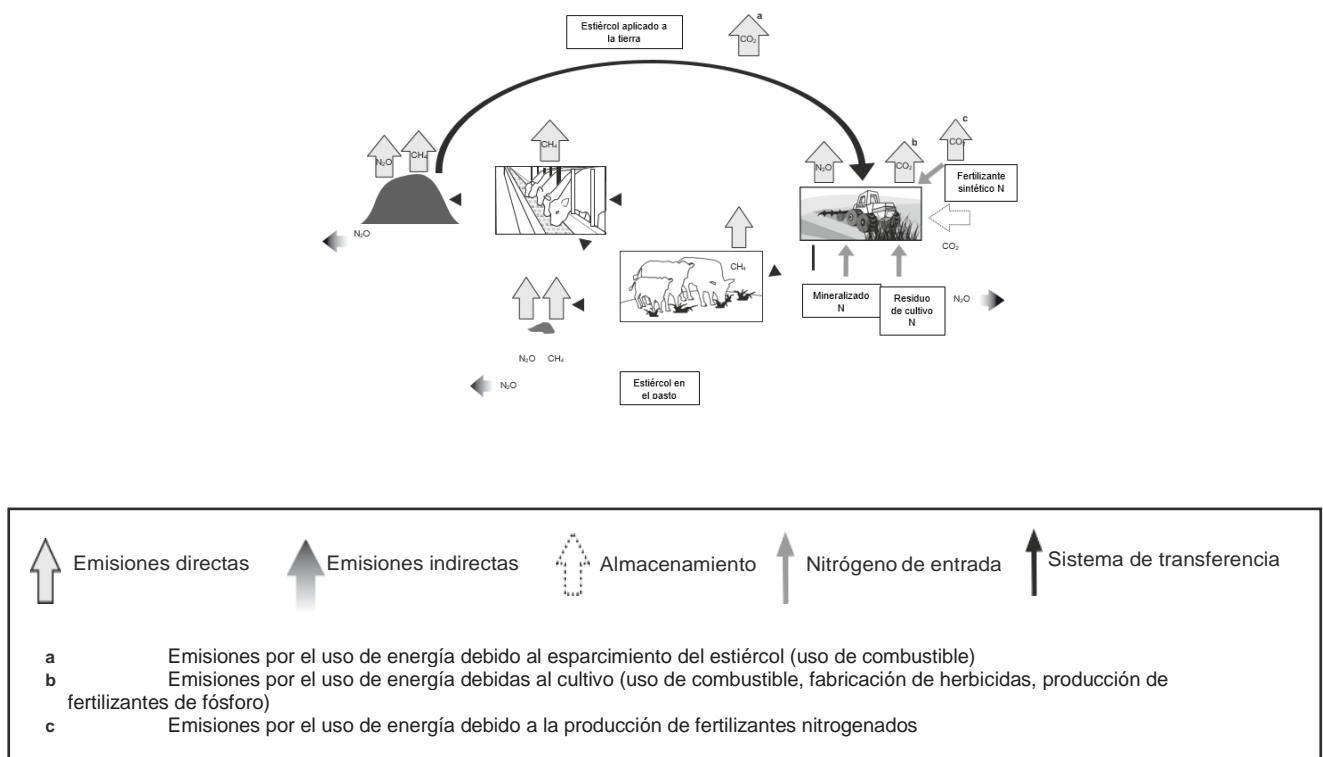


Figura 5. Entradas, fuentes de emisiones y componentes de la evaluación del ciclo de vida de la producción de carne en el oeste de Canadá. Fuente: (Beauchemin, Janzen, Little, McAllister, & McGinn, 2010).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La proporción de las emisiones de gases de efecto invernadero en equivalentes de CO₂ fueron: 63% de CH₄ entérico, 23% N₂O del estiércol, 5% de CH₄ del estiércol, 5% de CO₂ de energía y 4% de N₂O del suelo (Ver Figura 6).

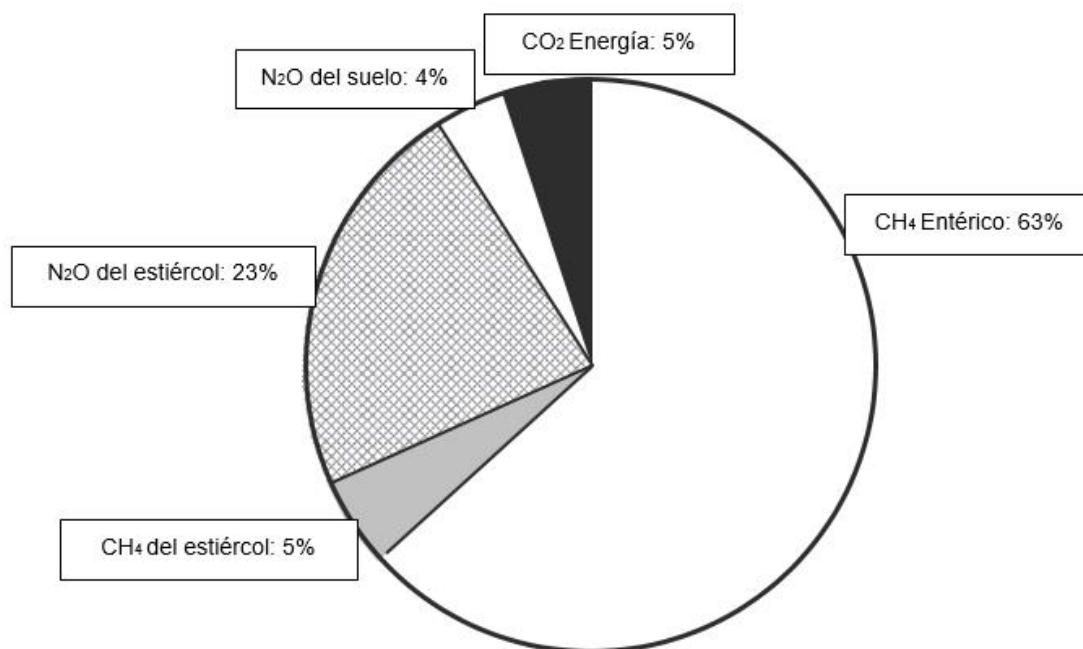


Figura 6. Proporción de las emisiones de gases de efecto invernadero (equivalentes de CO₂ % de las emisiones totales) resultantes de una granja de carne de ganado vacuno en el oeste de Canadá simulada durante un ciclo de producción de 8 años. Fuente: (Beauchemin, Janzen, Little, McAllister, & McGinn, 2010).

○ **Comparación de los impactos ambientales del ciclo de vida de tres estrategias de producción de carne de vacuno en el medio oeste superior de los Estados Unidos (Estudio 3) (Pelletier, Pirog, & Rasmussen, 2010).**

En el medio oeste superior de los Estados Unidos, en el año 2010 se realizó un estudio comparativo del análisis de ciclo de vida de tres estrategias de producción de carne de bovino, que tuvo en cuenta cuatro dimensiones importantes en el desempeño ambiental: la huella ecológica, el uso de energía acumulada, las emisiones de gases de efecto invernadero y las emisiones de eutrofización. Los tres sistemas analizados fueron: terneros destetados trasladados directamente a feedlots; terneros destetados trasladados

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

a pastos fuera del estado que luego se llevaban a feedlots; por último, terneros destetados que permanecían en praderas.

Según el estudio, los impactos ambientales en términos de consumo de recursos y emisiones generados por la producción de carne de res en feedlots (engorde del animal) son menores que los impactos asociados a la producción de carne de res en pasturas. Sin embargo, el estudio afirma que puede haber reducciones sustanciales en las emisiones de gases de efecto invernadero en los sistemas de pasturas en condiciones de retención potencial de carbono orgánico en el suelo. Además, enfatiza en que ninguno de los sistemas analizados puede describirse como ecológicamente eficiente en relación con la mayoría de las demás estrategias de producción de alimentos, puesto que los sistemas de producción de carne generan menor cantidad de recursos comestibles sobre la inversión de materiales y energía en relación con otros suministros (Ver Figura 7).

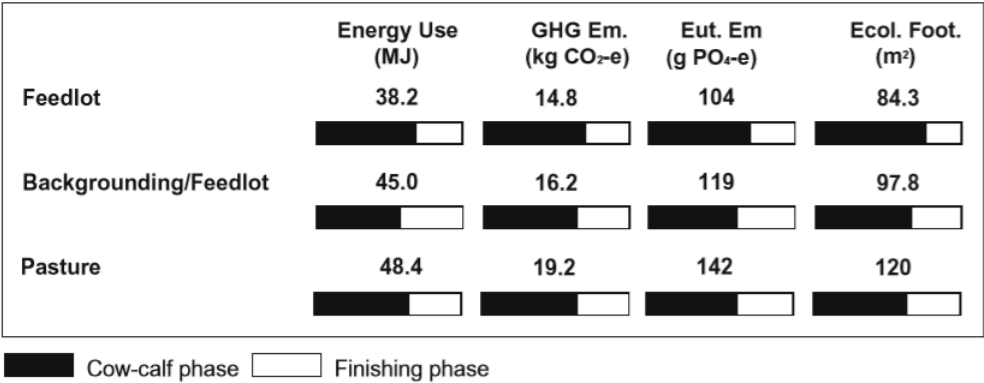


Figura 7. Uso acumulado de energía (MJ) del ciclo de vida de la cuna a la granja, huella ecológica (área del ecosistema productivo), y emisiones de gases de efecto invernadero (CO2-equivalente) y eutrofización (PO4equiv.) por kg de carne de vacuno de peso vivo producida en sistemas de producción de carne de res de engorde, forraje / engorde de ganado y sistemas de producción de carne de res en el medio oeste superior de los Estados Unidos. Fuente: (Pelletier, Pirog, & Rasmussen, 2010).

La energía empleada para la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fue de 38.2 MJ para el sistema de feedlot, 45 MJ para el sistema de pastoreo/feedlot y 48.4 MJ para el sistema de pasturas.

Las emisiones generadas para la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fueron de 14.8 kg de CO₂-e para el sistema de feedlot, 16.2 kg de CO₂-e para el sistema de pastoreo/feedlot y 19.2 kg de CO₂-e para el sistema de pasturas.

La eutrofización generada por la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fue de 104 g de PO₄-e para el sistema feedlot, 119 g de PO₄-e para el sistema pastoreo/feedlot y 142 g de PO₄-e para el sistema de pastoreo.

La huella ecológica generada por la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fue de 84.3 m² para el sistema feedlot, 97.8 m² para el sistema pastoreo/feedlot y 120 m² para el sistema de pastoreo.

○ **Huella de carbono en diferentes sistemas de producción de carne en una granja del sur de Brasil: un caso de estudio (Estudio 4) (Ruviano, de Léis, Lampert, & Jardim Barcellos, 2014)**

Se publicó en el año 2014, un artículo que evaluaba la huella de carbono en diferentes sistemas de producción de carne de bovino en una granja del sur de Brasil. La huella de carbono se define como la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero que aporta un individuo, organización, evento o producto.

El estudio se enfocó en identificar la huella de carbono generada por 1 kg de ganancia de peso vivo de bovino (Aberdeen Angus) obtenido a partir de siete sistemas de producción diferentes que varían en la composición de la dieta del animal, estos son: pasto natural; pasto natural mejorado; pasto natural y ballico, pasto natural mejorado y sorgo, raigrás cultivado y sorgo, pasto natural suplementado con sal mineralizada proteica y pasto natural complementado con sal mineralizada con proteínas energéticas. Se empleó un análisis de Montecarlo para estimar el efecto de las variaciones de digestibilidad de la ingesta de materia seca, nutrientes totales digeribles y parámetros de proteína cruda en la generación de metano entérico (CH₄), metano del estiércol (CH₄), óxido nitroso del estiércol (N₂O) y óxido nitroso del N-fertilizante (N₂O). Finalmente se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida que se centró específicamente en la valoración de la huella de carbono.

En la Tabla 1 se dan a conocer los resultados obtenidos en la investigación.

Tabla 1. Resumen de los insumos equivalentes de CO₂ calculados de cada etapa de crecimiento de cada escenario. Fuente: (Ruviano, de Léis, Lampert, & Jardim Barcellos, 2014)

Escenarios	Kg de CO ₂ equivalente/Kg ganancia de peso vivo de bovino		
	Min.	Medio	Max.
Pasto natural	39.3	42.6	46.5
Pasto natural mejorado	18.7	20.2	22.0
Pasto natural/ballico	27.2	29.6	32.6
Pasto natural mejorado/sorgo	21.1	23.4	25.4

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Raigrás cultivado/sorgo	18.3	20.0	21.8
Pasto natural suplementado con sal mineralizada proteica	30.6	33.3	36.6
Pasto natural complementado con sal mineralizada con proteínas energéticas	21.1	23.4	26.1

Los resultados muestran que los escenarios con una menor generación de gases de efecto invernadero son el raigrás cultivado y sorgo (20.0 kg de CO₂-e / kg de ganancia de peso vivo de bovino) y el pasto natural mejorado (20.2 kg de CO₂-e / kg de ganancia de peso vivo de bovino); en comparación con el escenario de pasto natural, que presenta el aporte más elevado en la huella de carbono (42.6 kg de CO₂-e / kg de ganancia de peso vivo de bovino) en el sur de Brasil. Los otros cuatro sistemas intermedios arrojaron los siguientes valores de cantidad de gases de efecto invernadero por la producción de 1 kg de ganancia de peso vivo de bovino: tanto el pasto natural mejorado/sorgo como el pasto natural complementado con sal mineralizada con proteínas energéticas generaron 23.4 kg de CO₂-e, el pasto natural/ballico generó 29.6 kg de CO₂-e y el pasto natural suplementado con sal mineralizada proteica 33.3 kg de CO₂-e.

El estudio concluyó que las modificaciones en las características del pasto expresadas en las variaciones de digestibilidad de la ingesta de materia seca, nutrientes totales digeribles y parámetros de proteína cruda pueden alterar los resultados y la clasificación de los escenarios relacionados con la huella de carbono para la ganancia de peso vivo de bovino. Adicionalmente, señaló que dichas conclusiones no deben ser generalizadas para todo el contexto nacional puesto que es necesario considerar la heterogeneidad del territorio de Brasil.

- **Evaluación del ciclo de vida de la producción de ganado vacuno en dos sistemas de pastizales típicos del sur de Brasil (Estudio 5) (Dick, Abreu da Silva, & Dewes, 2014)**

En el año 2014, se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida de la producción de ganado vacuno en dos sistemas de pastizales típicos del sur de Brasil: sistema extensivo (SE) y sistema intensivo (SI); con el fin de determinar los componentes que aportan un mayor impacto ambiental. El sistema dio inicio con 100 novillas destetadas, 4 terneros destetados y su progenie a lo largo de 12 años que corresponde a la vida productiva de los bovinos, además del área terrestre, insumos, recursos naturales y las tecnologías empleadas en el proceso. Se determinó que la unidad funcional sería la producción de 1 kg de peso vivo. Los resultados obtenidos indicaron que el SE presentó los valores más altos en los impactos generados por las emisiones de gases de efecto invernadero, uso del suelo, agotamiento del agua dulce, eutrofización de agua dulce y agotamiento fósil en

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

comparación con el SI (22.52 y 9.16 kg equivalentes de CO_2 , 234.78 y 21.03 m^2 , y 0.217 y 0.0949 m^3 , 0.00383 y 0.00219 kg equivalentes de P y 0.0042 y -0.1255 kg equivalentes de petróleo, respectivamente); esto gracias a las mejoras productivas del SI. El tiempo de permanencia de los animales en cada sistema, la calidad y producción de los pastos, la pérdida de nutrientes en los pastizales debido a la escorrentía y la introducción de leguminosas fueron determinantes en los valores adquiridos. Por otro lado, el SE presentó valores inferiores a los del SI en los impactos ambientales generados por el agotamiento del metal y la acidificación del suelo (0.000519 y 0.0536 kg equivalentes de Fe y 0.0028 y 0.0038 kg equivalentes de SO_2 , respectivamente), esto debido al uso de menor cantidad de insumos externos por parte del SE, a la mejora del pasto y al suministro de sal (Ver figuras 8 y 9).

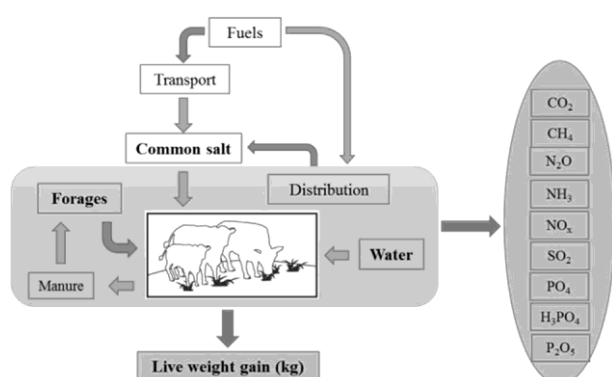
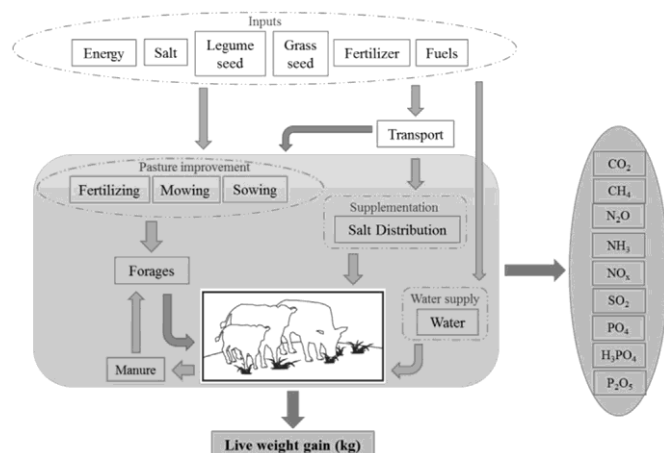


Figura 8. Límite de sistemas e sistema extensivo.
Fuente: (Dick, Abreu da Silva, & Dewes, 2014)



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 9. Límite de sistemas e sistema intensivo
Fuente: (Dick, Abreu da Silva, & Dewes, 2014)

- **Impactos ambientales de los sistemas extensivos e intensivos de producción de carne de vacuno en Tailandia evaluados mediante un análisis de ciclo de vida (Estudio 6) (Ogino, et al., 2015)**

En el noreste de Tailandia, en el año 2015, se realizó un análisis de ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales de los sistemas extensivo (SE) e intensivo (SI) de producción de carne de res. El SE se enfocó en el pastoreo y en el forraje para alimentar al animal, a diferencia del SI que emplea concentrados y el forraje de la cosecha propia. Los procesos asociados a la cría del ganado (manejo de animales, actividades biológicas asociadas, manejo de pastizales, producción de alimentos y tratamiento de desechos) fueron incluidos en el análisis de ciclo de vida. Se definió la unidad funcional como 1 kg de peso vivo de ganado bovino.

Los resultados obtenidos apuntaron a que los impactos ambientales del SE y del SI fueron de 14.0 y 10.6 kg de CO₂ equivalentes en el cambio climático, 3.5 y 11.3 MJ en consumo de energía, 47.4 y 61.8 g de SO₂ equivalentes para la acidificación, y 30.4 y 33.9 g de PO₄ equivalentes en la eutrofización, respectivamente. Se pudo evidenciar que los datos obtenidos en ambos sistemas, fueron significativamente diferentes entre sí, con excepción del impacto asociado con la eutrofización.

La principal fuente de gases de efecto invernadero corresponde al metano (CH₄) entérico, y el estiércol fue el principal responsable de la eutrofización y acidificación. Según los datos recolectados, el SI posee un menor impacto asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero y un mayor impacto en términos de consumo energético y acidificación en comparación con el SE (Ver figura 10).

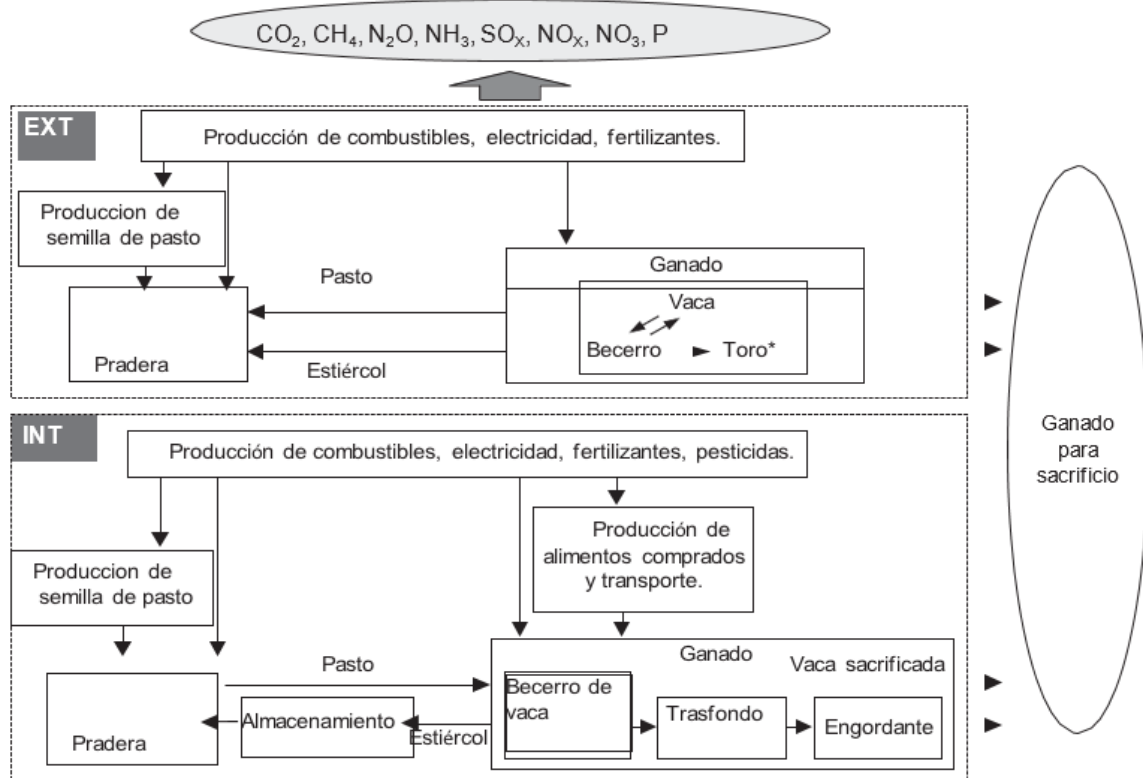
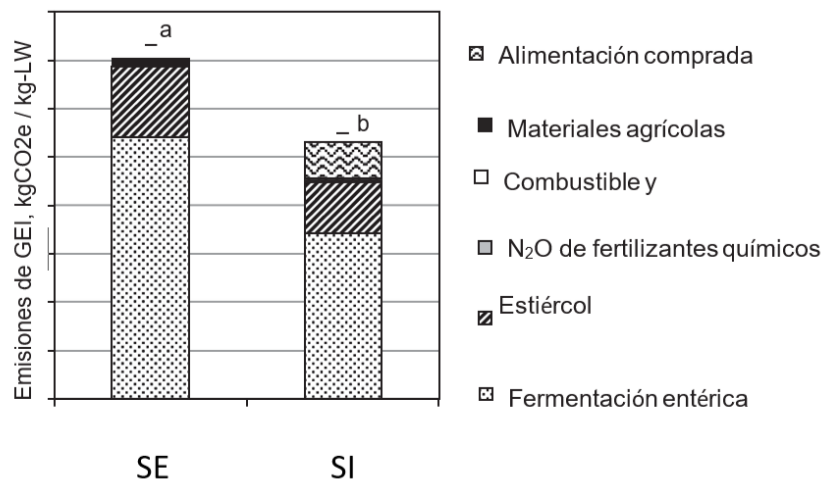


Figura 10. Descripción del sistema extensivo (SE) e intensivo (SI) de producción de carne de res investigados. Toro* no es para criar. Fuente: (Ogino, et al., 2015)

El SE aportó a las emisiones de efecto invernadero 14.0 kg de CO_2 equivalente por cada kg de peso vivo de ganado bovino y el SI aportó 10.6 kg de CO_2 equivalente por cada kg de peso vivo de ganado bovino (Ver figura 11).



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 11. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los sistemas de producción de carne de vacuno en Tailandia. LW, peso vivo; GEI, gas de efecto invernadero. Barras de error: errores estándar. Los valores con diferentes superíndices difieren significativamente ($P < 0.05$). Fuente (Ogino, et al., 2015)

El consumo de energía generado por el SE fue de 3.5 MJ y el generado por el SI fue de 11.3 MJ por cada kg de peso vivo de ganado bovino (Ver figura 12).

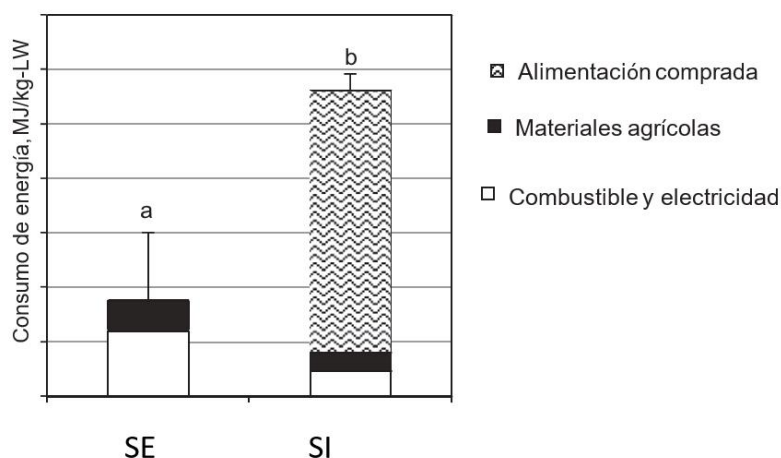
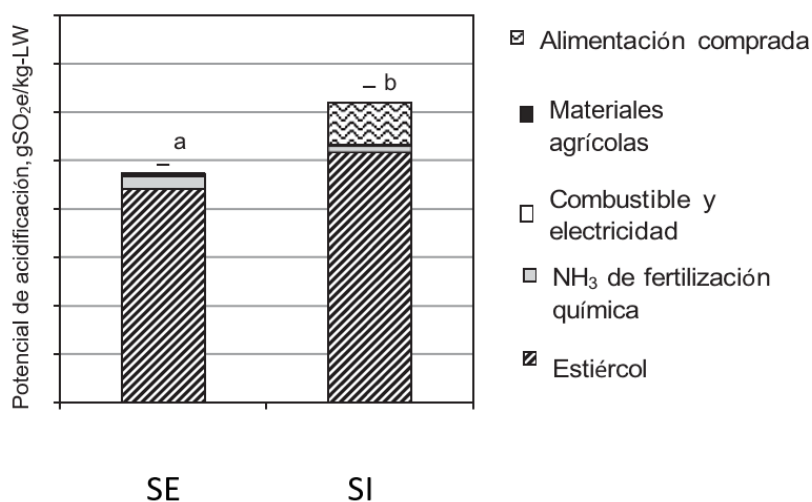


Figura 12. Consumo de energía de los sistemas de producción de carne en Tailandia. Barras de error: errores estándar. Los valores con diferentes superíndices difieren significativamente ($P < 0.05$). Fuente: (Ogino, et al., 2015).

El potencial de acidificación del SE fue de 47.4 g de SO₂ equivalentes y el del SI fue de 61.8 g de SO₂ equivalentes por cada kg de peso de ganado bovino (Ver figura 13).



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 13. Impactos en la acidificación de los sistemas de producción de carne en Tailandia. Barras de error: errores estándar. Los valores con diferentes superíndices difieren significativamente ($P < 0.05$). Fuente: (Ogino, et al., 2015).

El potencial de eutrofización del SE fue de 30.4 g de PO₄ equivalentes y el del SI fue de 33.9 g de PO₄ equivalentes por cada kg de peso de ganado bovino (Ver figura 14).

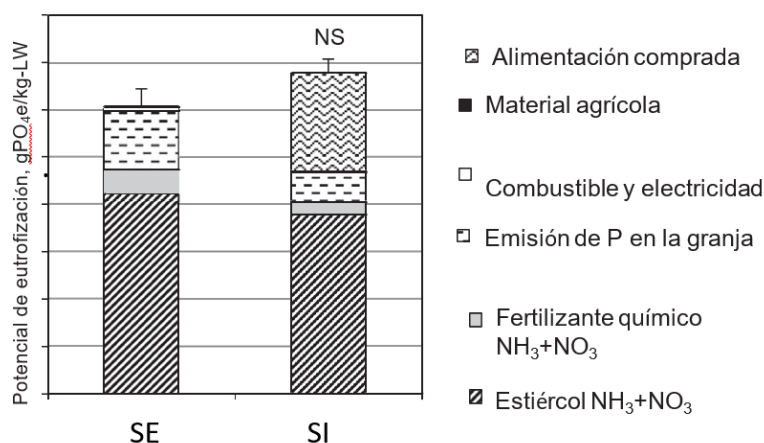


Figura 14. Impactos en la eutrofización de los sistemas de producción de carne en Tailandia. Barras de error: errores estándar. NS: ninguna diferencia significativa ($P > 0.05$). Fuente: (Ogino, et al., 2015)

○ **Impacto ambiental de la producción de carne en México a través de un análisis de ciclo de vida (Estudio 7) (Rivera Huerta, Güereca, & Rubio Lozano, 2016)**

Se realizó en México un estudio del impacto ambiental de la producción de carne de ganado bovino mediante un análisis de ciclo de vida en el año 2016. El objetivo de la investigación fue llevar a cabo una evaluación comparativa del impacto ambiental de los sistemas intensivos y extensivos de producción de carne de ganado vacuno en Veracruz. El artículo se enfocó en el estudio del sistema desde la producción agrícola hasta la etapa previa al transporte de la carne al consumidor, se encuentran incluidas las etapas intermedias de procesamiento del producto, comercialización y transporte. La unidad funcional empleada fue 1 kg de carne deshuesada y sin grasa. El inventario del ciclo de vida se constituyó a partir de información de casos de estudio; se entrevistó a agricultores, mataderos y gerentes de puntos de venta que proporcionaron datos de los registros y el conocimiento de los expertos. Los eslabones del proceso que fueron incluidos en el proceso fueron: vaca-ternero, pre-engorde, engorde, procesamiento y venta al por menor. Para la caracterización de los impactos se empleó el software SimaPro y el método

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

ReCiPe Midpoint. Lo impactos ambientales tomados en consideración fueron doce: cambio climático (CC), toxicidad humana (TC), acidificación terrestre (AT), eutrofización de agua dulce (EAD), eutrofización marina (EM), ecotoxicidad terrestre (ET), ocupación de tierra agrícola (OTA), agotamiento del agua (AA), agotamiento de fósiles (AF), formación de oxidante fotoquímico (FOF), ecotoxicidad de agua dulce (EAD), ecotoxicidad marina (ETM).

Los resultados arrojaron que, en el sistema de producción extensivo, la etapa de vaca-ternero es el contribuyente principal en once de las doce categorías de impacto analizadas (en todas menos en la ocupación de tierra agrícola); por otro lado, en el sistema de producción intensivo, la etapa vaca-ternero es el principal contribuyente en cuatro de doce (cambio climático, acidificación terrestre, agua dulce y eutrofización marina). El engorde en el sistema intensivo tiene un impacto predominante en seis de las categorías (toxicidad humana, agotamiento del agua, ecotoxicidad terrestre, agotamiento de los fósiles, formación de foto-oxidantes, ecotoxicidad del agua dulce y ecotoxicidad marina). El procesamiento tiene contribuciones relevantes en dos categorías en los sistemas intensivos (agotamiento de combustibles fósiles y formación de oxidantes fotoquímicos). Finalmente, la etapa de comercialización no tuvo un impacto significativo en ninguna categoría. Los resultados indicaron que el sistema extensivo tiene un mejor desempeño ambiental que el sistema intensivo para nueve de las doce categorías estudiadas (Ver figura 15).

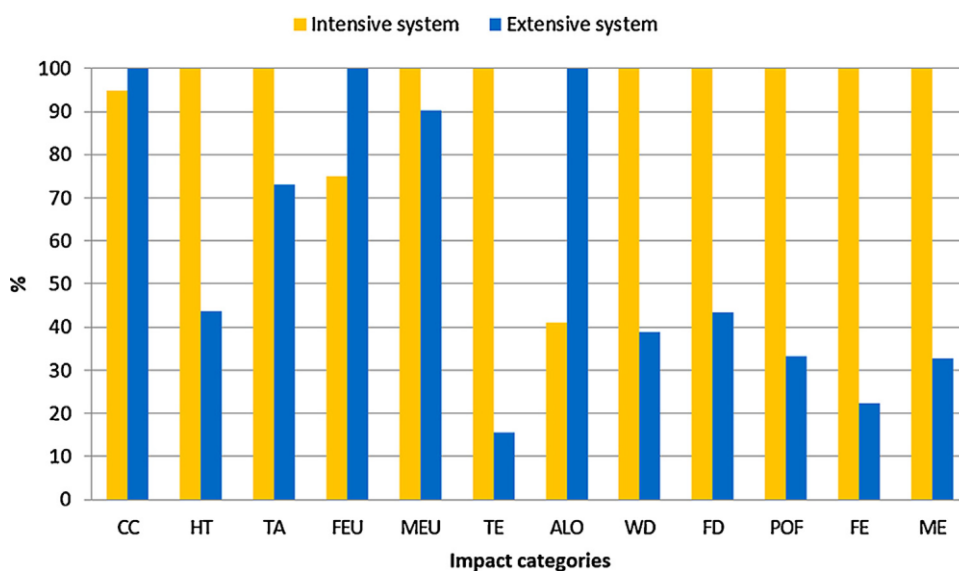


Figura 15. Comparación de categorías de impacto (porcentajes) para sistemas intensivos y extensivos. Comparación por 1 kg de carne. Cambio climático (CC), toxicidad humana (TC), acidificación terrestre (AT), eutrofización de agua dulce (EAD), eutrofización marina (EM), ecotoxicidad terrestre (ET), ocupación de tierra agrícola (OTA), agotamiento del agua (AA), agotamiento de fósiles (AF), formación de oxidante fotoquímico (FOF), ecotoxicidad de agua dulce (EAD), ecotoxicidad marina (ETM). Fuente: (Rivera Huerta, Güereca, & Rubio Lozano, 2016).

El 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados.

El aporte al cambio climático del SE por 1 kg de carne producida fue de 21.73 kg de CO₂-e y el del SI fue de 20.6 kg de CO₂-e. Dichos valores corresponden respectivamente al 100% y al 94.8 % del porcentaje total del impacto ambiental generado.

El aporte de la toxicidad humana del SE y del SI por 1 kg de carne producida fue de 0.25 (100%) y 0.11 kg de 1.4-DB eq (44%) respectivamente.

El aporte a la acidificación terrestre fue mayor en el SI (0.79 kg SO₂ eq/kg carne) que en el SE (0.57 kg SO₂ eq/kg carne), cuyo impacto ambiental en términos de porcentaje corresponde al 100% para el SI y al 72.2% para el SE.

El aporte en la eutrofización del agua dulce fue 25% mayor en el SE que en el SI, cuyos valores son: 0.49 kg de P-eq/kg de carne para el SE y 0.36 kg de P-eq/kg de carne para el SI.

El aporte en la eutrofización marina fue de 0.035 kg de N-eq/kg de carne en el SI (100%) y de 0.032 kg de N-eq/kg de carne en el SE (91%).

El aporte en la ecotoxicidad terrestre fue mucho mayor en el SI (0.012 kg DB-eq 1.4/kg carne) que en el SE (0.0018 DB kg 1.4 eq/kg carne), cuyos porcentajes corresponden respectivamente al 100% y al 15% del total del impacto generado.

La ocupación de tierra necesaria para la producción de 1 kg de carne fue 59% mayor en el SE que en el SI (274.3 vs 112.22 m² yr respectivamente).

Los resultados demostraron que la cantidad de agua requerida para la producción de 1 kg de carne depende del sistema de producción utilizado. El SI provoca un agotamiento de agua significativamente mayor que el SE, que se atribuye al uso de agua para la producción intensiva de granos. Los porcentajes fueron respectivamente del 100% para el SI y del 39% para el SE.

El responsable principal del agotamiento de recursos fósiles de los dos sistemas de producción analizados fue el SI, que correspondió al porcentaje del 100% en contraste con un 43% que corresponde al SE.

La formación de oxidantes fotoquímicos en el SE fue el 33% del SI.

El aporte a la ecotoxicidad del agua dulce en el SE fue de 0.01 kg DB-eq 1.4 por 1 kg de carne producida, lo que equivale a una reducción del 78% en comparación con el SI, la cual fue de 0.045 kg de DB-eq 1.4.

La ecotoxicidad marina fue mayor en el SI que en el SE, cuyos valores correspondieron respectivamente a 0.009 (100%) y a 0.003 kg de DB-eq 1.4 (33%)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- **Evaluación del impacto del ciclo de vida de la producción de carne de pastoreo orgánica y no orgánica en Japón (Estudio 8) (Tsutsumi, Ono, Ogasawara, & Hojito, 2017)**

En el 2017, se realizó un análisis de ciclo de vida de tres diferentes metodologías de la producción de carne de res en Japón: producción convencional, producción no orgánica y producción orgánica. La producción convencional en Japón emplea grandes cantidades de piensos concentrados importados. Por otro lado, se evaluó en una granja del norte de Japón (Yakumo Farm), la producción no orgánica y la posterior producción orgánica que fue implementada en la granja. La producción no orgánica obtiene el alimento en la propia granja, y emplea pesticidas y fertilizantes, estos últimos, sin embargo, no fueron utilizados en la producción orgánica. El estudio evaluó el impacto antes y después de la implementación de la producción orgánica en la granja Yakumo y un sistema convencional de producción de carne japonés mediante un análisis de ciclo de vida. El análisis de ciclo de vida incluía la producción de alimento, el procesamiento, el manejo de animales, el transporte, la fermentación entérica y el estiércol y su manejo. Se definió que la unidad funcional sería de 1 kg de peso en canal. Los impactos ambientales asociados a cada sistema tomados en consideración fueron: contribución potencial al calentamiento global, consumo de energía, acidificación y eutrofización.

Se obtuvo que los menores valores de consumo de energía, acidificación y eutrofización correspondían a los sistemas orgánico y no orgánico. Esto debido a que el sistema convencional importaba sus alimentos, incrementando el impacto ambiental considerablemente. El sistema no orgánico era responsable de la mayor contribución potencial en el calentamiento global, en comparación con los sistemas de producción orgánico y convencional, cuyos aportes eran equivalentes entre sí, esto debido al uso de fertilizantes y pesticidas aplicados en el sistema de producción no orgánico. Se reportó que el sistema no orgánico tenía mayor consumo de energía y mayor aporte de gases de efecto invernadero, mientras el sistema orgánico poseía un menor consumo de energía y un aporte intermedio de gases de efecto invernadero, lo que indicó que el sistema de producción orgánica mitigó en mayor medida los impactos ambientales en comparación con el sistema de producción no orgánica previamente utilizado en la granja Yakumo. Adicionalmente se concluyó que la importación de los piensos contribuía significativamente en el deterioro del medio ambiente.

La contribución potencial al calentamiento global del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 29.3, 35.1 y 28.9 kg de CO₂-e por 1 kg de carne de res.

El consumo de energía del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 29.1, 117 y 190.1 MJ por 1 kg de carne de res.

El aporte al potencial de acidificación del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 115.9, 103.5 y 325.7 g de dióxido de azufre equivalente por 1 kg de carne de res producida.

El aporte al potencial de eutrofización del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 20.31, 17.84 y 37.5 g de fosfato equivalente por 1 kg de carne de

res producida.

3.1.2 Análisis y conclusiones de los estudios analizados.

○ Gases de efecto invernadero

Estudio 1 (2009)

Según el Estudio 1, la producción de carne de res fue la principal generadora de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de carne de cerdo y de pollo, y la producción de leche y huevos. Se indicó que producción de 1 kg de carne de res produce entre 14 y 32 kg de CO₂-e, valores significativamente superiores a los aportados por la producción de las otras fuentes de proteína evaluadas.

Estudio 2 (Canadá, 2010)

Según este artículo la producción de 1 kg de carne de res genera 22 kg de CO₂. El metano entérico fue el principal contribuyente, aportando el 63% del total de las emisiones, seguido por el óxido nitroso del estiércol que aportó el 23%, el metano del estiércol y el dióxido de carbono de la energía aportaron el 5% y por último el óxido nitroso del suelo aportó el 24%.

Estudio 3 (Estados Unidos, 2010)

El estudio realizado en el oeste superior de los Estados Unidos en el 2010 certificó que las emisiones generadas para la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fueron según este de 14.8 kg de CO₂-e para el sistema de feedlot, 16.2 kg de CO₂-e para el sistema de pastoreo/feedlot y 19.2 kg de CO₂-e para el sistema de pasturas.

Estudio 4 (Brasil, 2014)

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que de los escenarios analizados los que presentaron una menor generación de gases de efecto invernadero fueron el raigrás cultivado y sorgo (20.0 kg de CO₂-e / kg de ganancia de peso vivo de bovino) y el pasto natural mejorado (20.2 kg de CO₂-e / kg de ganancia de peso vivo de bovino); en comparación con el escenario de pasto natural, que presentó el aporte más elevado en la huella de carbono (42.6 kg de CO₂-e / kg de ganancia de peso vivo de bovino) en el sur de Brasil. Los otros cuatro sistemas intermedios arrojaron los siguientes valores de cantidad de gases de efecto invernadero por la producción de 1 kg de ganancia de peso vivo de bovino: tanto el pasto natural mejorado/sorgo como el pasto natural complementado con sal mineralizada con proteínas energéticas generaron 23.4 kg de CO₂-e, el pasto natural/ballico generó 29.6 kg de CO₂-e y el pasto natural suplementado con sal mineralizada proteica 33.3 kg de CO₂-e.

Estudio 5 (Brasil, 2014)

Este estudio indicó que el SE presentó los valores más altos en los impactos generados por las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el SI, cuyos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

valores fueron respectivamente 22.52 y 9.16 kg equivalentes de CO₂ por cada kilogramo de carne de res producida.

Estudio 6 (Tailandia, 2015)

Según este estudio, el SI generó un menor impacto asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el SE. Los resultados obtenidos señalaron que el SE aportó 14.0 kg de CO₂ equivalente por cada kg de peso vivo de ganado bovino y el SI aportó 10.6 kg de CO₂ equivalente por cada kg de peso vivo de ganado bovino. La principal fuente de gases de efecto invernadero en ambos sistemas correspondió al metano (CH₄) entérico.

Estudio 7 (México, 2016)

Este estudio apuntó a que el aporte al cambio climático del SE por 1 kg de carne producida fue de 21.73 kg de CO₂-e y el del SI fue de 20.6 kg de CO₂-e. Dichos valores corresponden respectivamente al 100% y al 94.8% del porcentaje total del impacto ambiental generado (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio. Tanto en el sistema de producción extensivo como en el intensivo, la etapa de vaca-ternero es la contribuyente principal en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Estudio 8 (Japón, 2017)

Los resultados de este estudio apuntaron a que el sistema no orgánico era responsable de la mayor contribución potencial en el calentamiento global, en comparación con los sistemas de producción orgánico y convencional, cuyos aportes eran equivalentes entre sí, esto debido al uso de fertilizantes y pesticidas aplicados en el sistema de producción no orgánico. La contribución potencial al calentamiento global del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 29.3, 35.1 y 28.9 kg de CO₂-e por 1 kg de carne de res.

Análisis y conclusiones

Según los ocho estudios analizados, la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero para la producción de 1 kg de carne de res varían entre 9 y 43 kg de CO₂-e, con un promedio de 26 kg de CO₂-e, dependiendo del sistema empleado para su producción. El cambio climático fue la única variable tenida en cuenta en todos los estudios, lo que permite que exista una mayor confiabilidad en los datos obtenidos.

○ **Uso de tierra**

Estudio 1 (2009)

Este estudio reveló que la producción de carne de res fue la responsable del mayor uso de la tierra en comparación con la producción de carne de cerdo, carne de pollo, leche y huevos. Se demostró que 1 kg de carne de res requiere entre 27 y 49 m² de tierra, valores

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

muy superiores a los necesarios para la producción de 1 kg de los demás productos pecuarios valorados.

Estudio 3 (Estados Unidos, 2010)

El Estudio 3 afirmó que la huella ecológica generada por la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fue de 84.3 m² para el sistema feedlot, 97.8 m² para el sistema pastoreo/feedlot y 120 m² para el sistema de pastoreo, todos estos evaluados en el medio oeste superior de los Estados Unidos.

Estudio 5 (Brasil, 2014)

Los resultados obtenidos en este artículo señalan que el SE presentó los valores más altos en el uso del suelo en comparación con el SI, cuyos valores fueron respectivamente 234.78 y 21.03 m² por cada kilogramo de carne de res producida.

Estudio 7 (México, 2016)

Según este estudio, la ocupación de tierra necesaria para la producción de 1 kg de carne fue 59% mayor en el SE que en el SI, 274.3 vs 112.22 m² respectivamente (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio).

Análisis y conclusiones

En base a cuatro de los ocho estudios analizados se puede inferir que la cantidad de tierra empleada para la producción de 1 kg de carne de res es de entre 21 y 275 m², por ser estas las cifras mínimas y máximas obtenidas en dichas investigaciones, con un promedio de 148 m². La confiabilidad de estas cifras es bastante alta puesto que, aunque sólo la mitad de los artículos analizados consideraron el uso del suelo como una variable, el estudio 1 (que se encuentra incluido entre los cuatro) indagó a su vez en otros 16 artículos, lo cual asegura una mayor asertividad en los datos.

○ **Consumo energético**

Estudio 1 (2009)

El mayor consumo de energía asociado a las categorías de producción de carne de res, cerdo, pollo, huevos y leche fue el requerido para producir 1 kg de carne de res. Según esta investigación la energía necesaria para producir dicha cantidad varía entre 34 y 52 MJ, valores superiores a los necesarios para la producción de las otras fuentes de proteína tomadas en consideración.

Estudio 3 (Estados Unidos, 2010)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Según este artículo, la energía empleada para la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fue de 38.2 MJ para el sistema de feedlot, 45 MJ para el sistema de pastoreo/feedlot y 48.4 MJ para el sistema de pasturas.

Estudio 6 (Tailandia, 2015)

Los resultados obtenidos en este estudio apuntaron a que el SI presentó un mayor impacto ambiental en términos de consumo energético en comparación con el SE. La energía empleada por el SE fue de 3.5 MJ y la empleada por el SI fue de 11.3 MJ por cada kilogramo de peso vivo de ganado bovino.

Estudio 8 (Japón, 2017)

Según este estudio el consumo de energía del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 29.1, 117 y 190.1 MJ por 1 kg de carne de res.

Análisis y conclusiones

Cuatro de los ocho estudios analizados indican que el consumo energético para la producción de 1 kg de carne de res varía entre 3.5 y 190 MJ, según el tipo de sistema empleado, por ser estas las cifras mínimas y máximas obtenidas en dichas investigaciones, con un promedio de 96.75 MJ. La confiabilidad de estas cifras es bastante alta puesto que, aunque sólo la mitad de los artículos analizados consideraron el uso del suelo como una variable, el estudio 1 (que se encuentra incluido entre los cuatro) indagó a su vez en otros 16 artículos, lo cual asegura una mayor asertividad en los datos.

○ **Consumo de agua**

Estudio 5 (Brasil, 2014)

Los resultados obtenidos en este estudio señalaron que el SE presentó los valores más altos para el agotamiento del agua dulce en comparación con el SI, que fueron respectivamente 0.217 y 0.0949 m³ por cada kilogramo de carne de res producida.

Estudio 7 (México, 2016)

Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que la cantidad de agua requerida para la producción de 1 kg de carne depende del sistema de producción utilizado. El SI provoca un agotamiento de agua significativamente mayor que el SE, que se atribuye al uso de agua para la producción intensiva de granos. Los porcentajes fueron respectivamente del 100% para el SI y del 39% para el SE (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio). En el sistema de producción extensivo, la etapa de vaca-ternero es la

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

principal autora del consumo de agua, a diferencia del sistema intensivo, en el cual el engorde fue la etapa más significativa en el consumo de agua.

Análisis y conclusiones

Únicamente dos de los ocho estudios analizados tomaron en consideración el consumo de agua como una variable importante, y sólo uno indicó cifras exactas para el uso del recurso hídrico, este afirmó que para la producción de 1 kg de carne de res se necesitan entre 0.217 y 0.0949 m³, con un promedio de 0.155 m³. Debido a este hecho, los valores obtenidos poseen un menor grado de confiabilidad que algunas de las demás variables señaladas en el presente trabajo.

○ **Eutrofización**

Estudio 1 (2009)

El potencial de eutrofización en la producción de 1 kg de carne de res varió entre 0.07 y 0.022 kg de PO₄-e; valores similares a los obtenidos para la producción de carne de cerdo, y superiores a los obtenidos para la producción de pollo, leche y huevos.

Estudio 3 (Estados Unidos, 2010)

Este estudio afirmó que la eutrofización generada por la producción de 1 kg de peso vivo de carne de res fue de 104 g de PO₄-e para el sistema feedlot, 119 g de PO₄-e para el sistema pastoreo/feedlot y 142 g de PO₄-e para el sistema de pastoreo.

Estudio 5 (Brasil, 2014)

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que el SE presentó los valores más altos para la eutrofización del agua en comparación con el SI, cuyos valores fueron respectivamente 0.00383 y 0.00219 kg de P equivalentes por 1 kg de carne de res producida.

Estudio 6 (Tailandia, 2015)

Según los resultados obtenidos en el estudio el potencial de eutrofización del SE fue de 30.4 g de PO₄ equivalentes y el del SI fue de 33.9 g de PO₄ equivalentes por cada kg de peso de ganado bovino. El metano del estiércol fue el principal responsable de la eutrofización.

Estudio 7 (México, 2016)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Este estudio indicó que el aporte en la eutrofización del agua dulce fue 25% mayor en el SE que en el SI, cuyos valores son: 0.49 kg de P-eq/kg carne para el SE y 0.36 kg de P-eq/kg carne para el SI. Por otro lado, el aporte en la eutrofización marina fue de 0.035 kg de N-eq/kg carne en el SI que corresponde al 100% y de 0.032 kg N-eq/kg carne en el SE que corresponde al 91% (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio). Tanto en el sistema de producción extensivo como en el sistema intensivo, la etapa vaca-ternero fue la contribuyente principal en la eutrofización de agua dulce y marina.

Estudio 8 (Japón, 2017)

Los resultados de este artículo apuntaron a que el aporte al potencial de eutrofización del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 20.31, 17.84 y 37.5 g de fosfato equivalente por 1 kg de carne de res producida.

Análisis y conclusiones

Los aportes a la eutrofización según seis de los ocho estudios analizados indican que estos varían entre 0.00219 y 0.49 kg de P-eq para la producción de 1 kg de carne de res, con un promedio de 0.246 kg de P-eq.

○ **Acidificación**

Estudio 1 (2009)

El potencial de acidificación en la producción de 1 kg de carne de res varió entre 0.01 y 0.057 kg de SO₂-e, valores similares a los obtenidos para la producción de carne de cerdo, y superiores a los obtenidos para la producción de pollo, leche y huevos.

Estudio 5 (Brasil, 2014)

Según este estudio, el SE presentó valores inferiores a los del SI en términos de la acidificación del suelo, los cuales fueron 0.0028 y 0.0038 kg de SO₂ equivalentes respectivamente.

Estudio 6 (Tailandia, 2015)

Según los datos recolectados en este estudio el SI posee un mayor impacto ambiental en términos de acidificación en comparación con el SE. Los resultados obtenidos indicaron que el potencial de acidificación del SE fue de 47.4 g de SO₂ equivalentes y el del SI fue de 61.8 g de SO₂ equivalentes por cada kg de peso de ganado bovino. El metano del estiércol fue el principal responsable de la acidificación.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Estudio 7 (México, 2016)

Este estudio indicó que el aporte a la acidificación terrestre fue mayor en el SI (0.79 kg SO₂ eq/kg carne) que en el SE (0.57 kg SO₂ eq/kg carne), cuyo impacto ambiental en términos de porcentaje corresponde al 100% para el SI y al 72.2% para el SE (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio). Tanto para el SE como para el SI, la etapa vaca-ternero fue la contribuyente principal en la acidificación terrestre.

Estudio 8 (Japón, 2017)

Los resultados obtenidos en este artículo indicaron que el aporte al potencial de acidificación del sistema orgánico, no orgánico y convencional fue respectivamente de 115.9, 103.5 y 325.7 g de dióxido de azufre equivalente por 1 kg de carne de res producida.

Análisis y conclusiones

Cinco de los ocho estudios analizados indican que el aporte a la acidificación para la producción de 1 kg de carne de res varía entre 0.01 y 0.79 kg de SO₂-eq, con un promedio 0.4 kg de SO₂-eq.

○ **Agotamiento fósil**

Estudio 5 (Brasil, 2014)

Los resultados de esta investigación revelaron que el SE presentó los valores más altos en términos de agotamiento fósil en comparación con el SI, cuyos valores fueron respectivamente 0.0042 y -0.1255 kg de petróleo equivalentes por cada kilogramo de carne producida.

Estudio 7 (México, 2016)

Este estudio señaló que el responsable principal del agotamiento de recursos fósiles de los dos sistemas de producción analizados fue el SI, que correspondió al porcentaje del 100% en contraste con un 43% que correspondía al SE (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio). En el sistema de producción extensivo, la etapa de vaca-ternero fue la culpable del mayor porcentaje del agotamiento fósil, a diferencia del sistema intensivo, en la cual el engorde consumió la mayor cantidad de recursos fósiles, seguido por la etapa de procesamiento.

Análisis y conclusiones

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Dos de los ocho estudios analizados indican que el uso del recurso fósil para la producción de 1 kg de carne de res varía entre 0.0042 y -0.1255 kg de petróleo.

- **Agotamiento del metal**

Estudio 5 (Brasil, 2014)

En este estudio el SE presentó valores inferiores en contraste con los valores obtenidos en el SI en términos del agotamiento del metal, cuyos valores fueron respectivamente 0.000519 y 0.0536 kg de Fe equivalentes.

Análisis y conclusiones

Uno de los ocho estudios analizados indica que el uso de metal para la producción de 1 kg de carne de res varía entre 0.000519 y 0.0536 kg de Fe equivalentes, con un promedio de 0.027 kg de Fe equivalentes.

- **Toxicidad humana**

Estudio 7 (México, 2016)

Este estudio indicó que el aporte a la toxicidad humana del SE y del SI por 1 kg de carne producida fue de 0.25 (100%) y 0.11 kg de 1.4-DB eq (44%) respectivamente (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio). En el SE, la etapa de vaca ternero fue el principal contribuyente en la toxicidad humana, y en el SI fue el engorde.

Análisis y conclusiones

Uno de los ocho estudios analizados indica que el grado de toxicidad humana para la producción de 1 kg de carne de res varía entre 0.25 y 0.11 kg de 1.4-DB eq, con un promedio de 0.18 kg de 1.4-DB eq.

- **Ecotoxicidad**

Estudio 7 (México, 2016)

Según este artículo el aporte a la ecotoxicidad terrestre fue mucho mayor en el SI (0.012 kg DB-eq 1.4 /kg carne) que en el SE (0.0018 kg DB-eq 1.4 /kg carne), cuyos porcentajes corresponden respectivamente al 100% y al 15% del total del impacto generado. El aporte a la ecotoxicidad del agua dulce en el SE fue de 0.01 kg de DB-eq 1.4 por 1 kg de carne producida, lo que equivale a una reducción del 78% en comparación con el SI, la cual fue de 0.045 kg de DB-eq 1.4. Finalmente, la ecotoxicidad marina fue mayor en el SI que en el SE, cuyos valores correspondieron respectivamente a 0.009, siendo este el 100% y a

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

0.003 kg de DB-eq 1.4 siendo este el 33% (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio). En el sistema de producción extensivo, la etapa vaca-ternero presentó los valores más significativos en términos de ecotoxicidad terrestre, marina y de agua dulce; por otro lado, en el sistema intensivo, la etapa que presentó los valores máximos de ecotoxicidad fue el engorde.

Análisis y conclusiones

Uno de los ocho estudios analizados indica que la ecotoxicidad generada para la producción de 1 kg de carne de res varía entre 0.012 y 0.0018 DB kg 1.4 eq, con un promedio de 0.0069 DB kg 1.4 eq.

○ **Formación de oxidantes fotoquímicos**

Estudio 7 (México, 2016)

El estudio indicó que la formación de oxidantes fotoquímicos en el SE fue el 33% del SI (el 100% fue definido a partir de los valores estimados más altos en cada uno de los impactos ambientales analizados en este estudio). En el SE, la etapa de vaca ternero fue la más significativa en este impacto; por otro lado, en el SI, las etapas más significativas fueron el engorde y el procesamiento.

Análisis y conclusiones

Uno de los ocho estudios analizados indica que la formación de oxidantes fotoquímicos en el SE fue el 33% del SI. Este estudio no presentó valores precisos por lo que no es posible establecer una conclusión definitiva.

○ **Análisis y conclusiones generales.**

De los resultados obtenidos se puede inferir que la producción de carne de res posee múltiples impactos ambientales; entre los más destacados: las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo energético, el uso de tierra, la eutrofización, acidificación y el consumo de agua. Los estudios analizados emplearon como unidad funcional 1 kilogramo de carne de res producida, lo que permitió contrastar y agrupar las cifras y determinar los rangos entre los que oscilan los datos. Dichos valores varían según el tipo de sistema de producción empleado, y entre un estudio y otro debido a las diferentes variables que influyen en cada uno. Es preciso mencionar que el estudio 1 analizó a su vez otras 16 investigaciones, y por tanto posee un mayor peso en términos de asertividad en los datos que los demás artículos evaluados en el presente trabajo, a mayor número de estudios analizados, mayor confiabilidad en los resultados. El impacto asociado a la formación de los oxidantes fotoquímicos fue tenido en consideración únicamente por un

estudio (estudio 7), y sus conclusiones no fueron definitivas. A continuación, se darán a conocer los resultados en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuantificación de los impactos ambientales asociados a la producción de un kilogramo de carne de ganado vacuno según los diferentes estudios analizados.

Impacto ambiental	Rango	Promedio	Unidades	Número de estudios
Gases de efecto invernadero	9 - 43	26	kg de CO ₂ - e/kg carne	8 (incluido estudio 1)
Uso del suelo	21 - 275	148	m ² /kg carne	4 (incluido estudio 1)
Consumo energético	3.5 - 190	96.75	MJ/kg carne	4 (incluido el estudio 1)
Consumo de agua	0.0949 - 0.217	0.155	m ³ /kg carne	2
Eutrofización	0.00219 – 0.49	0.246	Kg P-eq/kg carne	6
Acidificación	0.01 – 0.79	0.4	kg SO ₂ -eq/kg carne	5
Agotamiento fósil	-0.1255 – 0.0042	-	Kg petróleo/kg carne	2
Agotamiento del metal	0.000519 – 0.0536	0.027	Kg Fe/kg carne	1
Toxicidad humana	0.11 – 0.25	0.18	Kg 1.4-DB/kg carne	1
Ecotoxicidad	0.0018 – 0.012	0.0069	Kg 1.4-DB/kg carne	1
Formación de oxidantes fotoquímicos	-	-	-	1

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.2 ESPECIES VEGETALES CON ALTO CONTENIDO EN PROTEÍNA

A lo largo de la historia humana han existido múltiples culturas cuya alimentación se ha basado en el consumo de diferentes vegetales, frutas y granos, que han logrado reemplazar la proteína animal por una dieta balanceada de estos suministros de origen vegetal. La elección de una dieta más baja en carnes o incluso completamente vegetariana puede darse por diferentes motivos: ética animal, religión, salud, economía o consciencia ambiental.

Existen diferentes estudios que afirman que una dieta adecuadamente planificada a base de vegetales o con una disminución considerable en el consumo de carne es saludable, apropiada en términos nutricionales e incluso puede proporcionar beneficios para la salud, ya que previene y trata ciertas enfermedades. Según estos, las dietas vegetarianas o con bajo consumo en carnes bien planificadas son apropiadas para todas las etapas del ciclo vital y también para los atletas (Gallo, et al., s.f.).

El consumo de carne acarrea consigo numerosos impactos ambientales que se aseveran al tiempo que aumenta la población mundial y la industria cárnica crece. La producción de carne actualmente es ineficiente, consume más recursos de los que genera y origina una alarmante cantidad de desechos y contaminación. Esto no sólo trae consigo una desestabilización ambiental sin precedentes, sino también choques sociales importantes, como los asociados a la desnutrición de alrededor de mil millones de personas, esta afirmación fundamentada en el hecho de que un tercio del cereal producido para alimentar a los animales de granja podría destinarse a la alimentación de tres mil millones de personas. (Animals Australia, s.f.). Existen, por otro lado, múltiples estudios que indican que la reducción en el consumo de carne puede disminuir el riesgo de obesidad, enfermedades cardiovasculares y cáncer (International Vegetarian Union, 2017).

Actualmente, una disminución en el consumo de carne de res en las sociedades podría representar una mengua considerable en los impactos ambientales y favorecer la germinación de una sociedad más sostenible y amigable con el entorno.

Este trabajo busca ofrecer una alternativa al consumo de la carne de res en Colombia, específicamente en el Oriente Antioqueño, mediante el diseño de un invernadero de ciclo cerrado que se especialice en cultivos vegetales no tradicionales con alto contenido proteico, con el fin de poner al alcance de los consumidores una mayor variedad de opciones para la obtención de la proteína a un menor precio y cuya producción se base en un esquema sostenible, que genere un menor impacto ambiental en contraste con la industria cárnica de la res por la producción de la misma cifra proteica.

3.2.1 Bibliografía de especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico aptas para su cultivo en el Oriente Antioqueño.

A continuación, se darán a conocer las características generales de diferentes vegetales no tradicionales con alto contenido proteico, con el objetivo de presentar una gama de posibles opciones a cultivar en el invernadero de ciclo cerrado propuesto posteriormente,

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

de las cuales se seleccionaron cinco por medio de una tabla de priorización.

○ **Alcachofa**

La alcachofa (*Cynara scolymus* L.) es una planta cultivada como alimento en climas templados. Perteneció al género de las *Cynara* dentro de la familia *Asteraceae*. La alcachofa es planta perenne de hasta 150 cm de envergadura. Su cultivo es común en los países mediterráneos. Posee 2.3 gramos de proteína por cada 100 gramos (Fundación Española de la Nutrición [FEN], s.f.) (Ver figura 16).

Esta planta crece en temperaturas entre 7 y 29°C y en altitudes de entre 1900 y 2800 msnm. Cuenta con un sistema radicular potente y resistente a la salinidad que le permite adaptarse a una extensa gama de suelos. Para su recolección pueden transcurrir de ocho meses a un año a partir del momento de la siembra, o de cinco a seis meses si su forma de cultivo es por estacas o esquejes. La alcachofa gusta de la presencia del sol, aunque no es necesario que este sea directo y requiere de una buena cantidad de agua para su crecimiento. El rendimiento de la alcachofa es de aproximadamente 20.000 kg/ha cada año en un sistema de regadío protegido (invernadero) como el que será propuesto posteriormente (Gosálbez, 2012; Agricultureros, 2017).

El cultivo de alcachofa se encuentra actualmente presente en el Oriente Antioqueño, aunque no en gran medida, su existencia en el mercado no es muy alta y se vende a un precio aproximado de \$15.000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín. (Central Mayorista de Medellín & Plaza de mercado “La Galería”, 2018; Peña López, 2016)



Figura 16. Alcachofa. Fuente: (Mejor con Salud, s.f.)

○ **Alfalfa**

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una planta perenne, perteneciente a la familia de las *Fabaceae*, de crecimiento erecto, que mide entre 60 y 100 cm de altura. Los tallos son delgados, sólidos o huecos y la raíz alcanza varios metros de longitud, con una corona, de la cual emergen los rebrotes, que dan origen a los nuevos tallos; las flores son de color azul o púrpura, dependiendo de la variedad (Del Pozo, 1983). El porcentaje de proteína presente en la alfalfa es de aproximadamente 17.5% (Gélvez, 2018) (Ver figura 17).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La alfalfa es originaria de Irán y Asia Menor y es una de las plantas más utilizadas como forraje en el mundo. Esta especie fue introducida a América del Sur en el siglo XVI, por los portugueses y españoles (Muslera y Ratera, 1991 citado en Arrieta & Romero, 2008)

Esta planta se cultiva en una amplia variedad de suelos y climas. Resiste altitudes comprendidas entre 700 y 2800 msnm y se adapta a suelos profundos, bien drenados, alcalinos y tolera la salinidad moderada; sin embargo, se considera una especie muy sensible a la acidez del suelo. El pH crítico para su desarrollo varía de 5-6. La temperatura óptima de crecimiento fluctúa entre los 15 y 25 °C durante el día y de 10 a 20 °C en la noche. (Hughes et al., 1980; Muslera y Ratera, 1991). Tiene un notable consumo de Ca y Mg que, de contenerlos el suelo en proporciones suficientes para satisfacer sus requerimientos, es necesario solamente el agregar fertilizantes fosfatados y potásicos (Juncafreca, 1983 citado de ecohortum, 2013). Se puede cosechar la alfalfa 70 días luego de su plantación.

El rendimiento promedio de la alfalfa en un sistema es de aproximadamente 40.500 kg/ha cada año (Rivas, López Castañeda, Hernández Garay, & Pérez Pérez, 2007).

La alfalfa se considera uno de los pastos de corte más importantes en Colombia y se destina principalmente para el consumo de animales de granja en el país (Argüelles Mendoza & Alarcón Millán; s.f.).

La alfalfa generalmente es importada, su presencia en el mercado es escasa y su precio es de aproximadamente \$100.000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 17. Alfalfa. Fuente: (Anonimo, s.f.)

○ **Amaranto**

El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) o Kiwicha, es una planta que pertenece a la familia de las amarantáceas. Se trata de un género de plantas ampliamente distribuido por la mayor parte de las regiones templadas y tropicales. Varias de ellas se cultivan como verduras, granos o plantas ornamentales. El grano de Amaranto, es considerado como un pseudocereal, ya que tiene propiedades similares a las de los cereales pero taxonómicamente no lo es (Díaz, 2015) (Ver figura 18).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Según estudios arqueobotánicos, el amaranto se cultiva en América desde hace unos 5000 años, todas las especies del género *Amaranthus* son originarias de este continente (Mapes Sánchez, 2015).

Esta planta posee los granos comestibles más pequeños del mundo, tienen forma redondeada, ligeramente aplanados, miden de 1 a 1,5 mm de diámetro y poseen diversos colores de acuerdo con la variedad a la que pertenecen. Contiene aproximadamente 15.8 gramos de proteína por cada 100 gramos (CODEBIO, s.f.; Becerra, 2000)

El cultivo de amaranto tolera un amplio rango de condiciones de suelo, crece adecuadamente en suelos fértiles y profundos, con buena dotación de materia orgánica y bien drenados. Dependiendo de la especie pueden tolerar suelos alcalinos y ácidos. Su cultivo es fácil y eficiente, crece en un ciclo de 150 a 180 días (Tejerina Oller & Arenas Martínez, 2005).

El rendimiento promedio del amaranto es de aproximadamente 2.000 kg/ha por año (López, 2009).

El amaranto es importado, su presencia en el mercado es sumamente escasa y su precio es de aproximadamente \$17500 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro; 2018).

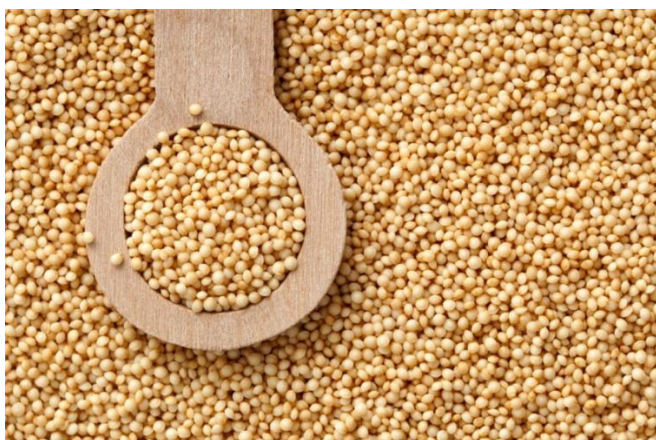


Figura 18. Amaranto. Fuente: (Frutos del país Melendez, 2015)

○ **Bayas de Goji**

Las bayas de goji son frutas de un color rojo intenso, aproximadamente del tamaño de una pasa de uva y con un sabor que podría asemejarse a una mezcla de arándanos y cerezas. Las bayas frescas tienen un aspecto similar, tanto en la forma como en el tamaño, a la de los tomates cherry. Poseen un contenido en proteína de alrededor del 12% (Superalimentos, s.f.) (Ver figura 19).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

China es el principal proveedor de bayas de goji y se cultiva mayoritariamente en la provincia de Ningxia (Balcells, Núñez de Kairuz, & Nader-Macias, 2013).

La planta de la baya de goji debe estar ubicada en un lugar donde reciba mucha luz solar. Se adapta muy bien a diferentes tipos de suelos, tanto ácidos como alcalinos, este debe tener un buen aporte de materia orgánica, y debe presentar buenas condiciones de drenaje. El riego no debe ser excesivo, incluso puede soportar sequías moderadamente severas. La planta de la baya de goji es resistente a temperaturas extremas, con un mínimo de -20°C y un máximo de 35°C. La baya de goji fructifica generalmente al segundo año luego de ser cultivada, pero dependiendo de la temperatura a la que se encuentre puede germinar en el primer año (ecoagricultor, s.f.).

El rendimiento de las bayas de Goji es de aproximadamente 4.500 kg/ha cada año (Berries for africa, s.f.).

La Bayas de Goji son generalmente importadas desde la India, su presencia en el mercado es sumamente escasa y su precio es de aproximadamente \$180000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 19. Bayas de Goji. Fuente: (ISTOCKPHOTO/THINKSTOCK, s.f.)

○ **Berro**

El berro (*Nasturtium officinale*) es una herbácea de tallos rastreros de la familia de las crucíferas. Son de las pocas hortalizas que crecen de forma espontánea en el medio acuático. Éstas son de color verde con limbo ancho. Las flores son pequeñas y blancas y se reúnen en racimos o panículas terminales. El berro es originario de Europa y apreciado por los romanos y cultivado en Francia desde el siglo XVII. Posee 3 g de proteína por cada 100 gramos (FEN, s.f.) (Ver figura 20).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El berro se desarrolla mejor en climas templados, pero a su vez tolera una amplia gama de temperaturas que van desde los 5°C hasta los 23° C. Es ideal plantarla en lugares sombríos y húmedos. Si no tiene un flujo constante de agua no es bueno que obtenga luz directa para mantener la humedad del suelo puesto que es muy exigente en agua tanto en calidad como en cantidad. Se recomienda plantarlo en terrenos arcillosos y ricos en humus. Tiene baja tolerancia a la salinidad. Se puede cosechar de 1 a 2 meses después de la siembra (Saavedra Del R., Gabriel; Blanco M., Carlos; Pino Q., Maria Teresa; Aspe Di L., Cristián, 2011; El Huerto de Urbano, 2011)

Se puede obtener un promedio aproximado de 20.000 kg/ha por año de berro (Rana & Reddy).

El Berro es actualmente cultivado en la región del Oriente Antioqueño aunque de manera esporádica, su presencia en el mercado es escasa y su precio es de aproximadamente \$67000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 20. Berro. Fuente: (Bio Trendes, s.f.)

○ **Canónigos**

La hierba de los canónigos (*Valerianella locusta*) pertenece a la familia de las valerianáceas, crece en estado salvaje en toda la zona templada de Europa, Asia Menor y el Cáucaso. Esta hierba se distingue por la particular disposición de sus pequeñas hojas verdes en forma de ramillete o rosetas. Es pequeña, ronda los 10 a 30 cm de altura; y sus hojas, redondeadas, son tanto más tiernas y sabrosas cuanto más pequeñas. Las flores, de tonos blancos o azulados, son muy pequeñas y sencillas, y crecen en lo alto de tallos de unos 20-25 cm, en grupos y escondidas entre hojas. Posee 1.8 proteínas por cada 100 gramos (Ver figura 21).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La siembra debe hacerse en un lugar moderadamente sombreado, ya que la exposición directa al sol puede ser dañina para la planta y la temperatura de la tierra debe oscilar entre los 15 y los 18°C. A pesar de que el canónigo puede adaptarse a diferentes tipos de terrenos, crece mejor en suelos ligeros de tierra vegetal. Esta es una planta que demanda un riego regular, ya que la falta de agua puede causar un debilitamiento de la planta y afectar su crecimiento, por eso es importante mantener siempre la tierra ligeramente húmeda, aunque teniendo cuidado de no caer en el exceso. La cosecha comienza a partir de las seis semanas posteriores a la plantación del canónigo, y se puede seguir recolectando las hojas hasta la primavera (FEN, s.f.).

El rendimiento aproximado de canónigos en un año es de 6.609 kg/ha en un regadío protegido (Agromática, s.f.).

Los Canónigos no fueron encontrados ni en el mercado ni en los cultivos existentes en el Oriente Antioqueño, por tal motivo tampoco pudo atribuírsele un precio aproximado (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 21. Canónigos. Fuente: (Gastronomía & Cía, 2008)

○ **Kale**

El kale (*Brassica olerace*) también conocido como col rizada, breza, bretón o brecolera es una hortaliza perteneciente a la familia de las crucíferas. Las hojas del kale son anchas y de bordes rizados, pueden medir hasta 60 cm de ancho y 90 cm de largo (dependiendo de la variedad) y éstas pueden tener un color verde oscuro, rojizo o incluso azulado. La cantidad de proteínas de la col rizada, es de 4,30 gramos por cada 100 gramos (Ver figura 22).

El kale es una hortaliza resistente que crece en temperaturas de entre 10 y 20°C. No tolera en gran medida el calor o la falta de agua y necesitan la luz del sol para poder

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

desarrollarse plenamente. No requiere de suelos ricos en nutrientes para su crecimiento, pero si suelos de húmedos y con buen drenaje. Puede ser cosechada a los 100 o 120 días después de la siembra (Masabni, s.f.).

El rendimiento promedio del kale por año es de 9.800 kg/ha aproximadamente (Secretaría de Fomento Agropecuario Gobierno del Estado de Baja California, 2009).

El Kale se cultiva en Colombia, sin embargo, este es escaso; se encuentra en el mercado ocasionalmente y su precio promedio es de \$13.000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 22. Kale. Fuente: (Multicanal Iberia S.L.U., 2017)

○ **Kañiwa**

La kañiwa (*Chenopodium pallidicaule aellen*) es un grano andino de gran valor nutricional que se desarrolla entre los 3800 y los 4200 metros sobre el nivel del mar, principalmente en el altiplano peruano. Tiene un alto contenido de proteínas, hasta de 18.8 gramos por cada 100 gramos, así como de aminoácidos esenciales. Es un alimento versátil y energético de considerable valor alimenticio y nutritivo para el consumo humano, siendo ampliamente empleado (Centro de Acopio y Transformación de Cultivos Andinos [CEAT], s.f.; Mamani Apaza, 2010) (Ver figura 23).

El cultivo de kañiwa se desarrolla apropiadamente en temperaturas que van desde los -4 a los 20°C, e incluso algunos estudios indican que esta planta puede germinar hasta los 30°C. Con relación a los requerimientos este cultivo para su óptimo desarrollo necesita: suelos franco arcillosos con buen drenaje y buenas concentraciones de nitrógeno y fósforo; adecuada humedad durante los primeros 20 días después de la germinación, ya

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

que tolera sequías una vez que alcanza el estado de inicio de ramificación (40 a 50 días después de la germinación). La cosecha se realiza una vez llegan a la madurez fisiológica, que tarda entre 120 y 180 días o incluso 70 días, según el ciclo vegetativo de las variedades (Soberanía Alimentaria, 2014; Mendoza Moscoso, s.f.; La Rosa, y otros, 2016; Hurtado Marchena & Rodríguez Barreto, 2011)

El rendimiento promedio aproximado de la kañiwa es de 2.400 kg/ha por año (National Research Council, 1989).

No existen cultivos de Kañiwa en el país, y su presencia en el mercado del Oriente Antioqueño y de Medellín es nula, por tanto, no fue posible atribuirle un precio promedio a este alimento (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 23. Kañiwa. Fuente: (Bravo, 2017)

○ **Maca**

La Maca (*Lepidium meyenii* W.) es una planta originaria de la región Andina del Perú perteneciente a la familia de las crucíferas. Es una planta herbácea bianual, cuya parte subterránea (hipocótilo) es comestible y se aprecia mucho por su valor nutritivo, crece arrosetada y postrada a ras del suelo, ventaja que ha hecho, que la maca pueda prosperar bajo condiciones de clima extremo. En la raíz de maca hay entre un 14 - 15% de proteína (Homeovita, s.f.; Guijarro Loaiza, 2011) (Ver figura 24).

Esta planta encuentra las mejores condiciones climáticas para su crecimiento entre los 2.500 y los 4.000 m.s.n.m. Las temperaturas óptimas para la maca oscilan entre -10 y 22 °C. Es resistente al frío de las heladas y granizadas. La maca requiere de suelo de textura franco arenoso o suelos negros, con una buena humedad y con un pH de 6.5 a 7.5. La maca es exigente en nutrientes disueltos en el suelo. El periodo vegetativo de la

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

maca tarda entre 8 y 9 meses. El rendimiento de cultivo de la maca es de aproximadamente 3.600 kg/ha cada año (Lacanna, s.f.).

La Maca es generalmente importada desde Perú, su frecuencia en el mercado es escasa y su precio promedio es de \$75000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 24. Maca. Fuente: (Super Alimentos, s.f.)

○ **Moringa**

La moringa (*Moringa oleífera* Lam.) pertenece a la familia Moringaceae. Las especies de esta familia se caracterizan por tener hojas pinnadas grandes, cada una dividida en muchos folios dispuestos sobre un armazón llamado raquis. Los frutos forman una cápsula larga y leñosa que cuando alcanza la madurez se abre lentamente en 3 válvulas que separan la una de la otra por su longitud, quedando pegados sólo en la base del fruto. Mide de 2 a 8 metros de altura, con hojas de 25 a 30 cm de largo, con foliolos delgados oblongos, los laterales asimétricos, obtusos redondeados en el ápice obtusos agudos en la base. Panículas de 12 a 15 mm de largo, blancas y fragantes; sépalos lanceolados; pétalos espatulados, anteras amarillas, ovario pubescente. Frutos de 18 a 32 cm de largo y 0.9 a 2.2 cm de ancho. Las hojas frescas de moringa poseen aproximadamente 6.7 gramos de proteína por cada 100 gramos y las hojas secas poseen de 27.1 a 30 gramos por cada 100 gramos. Por otro lado, las vainas poseen 2.5 gramos de proteína por cada 100 gramos (Ver figura 25).

Esta planta prospera en climas tropicales, por debajo de los 500 m.s.n.m. y crece muy poco cuando se cultiva por encima de los 2000 m.s.n.m. La moringa es una planta adaptativa, de fácil cultivo, que se reproduce en cualquier tipo de terreno (alcalinos hasta de pH de 9); además es de rápido crecimiento ya que produce los tallos después de 6 - 8

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

meses de haber sido plantada (Olson & Fahey, 2011; Sanchinelli Pezzarossi, 2004). El rendimiento aproximado de moringa es de 44.000 kg/ha cada año (Finkeros, 2015).

La Moringa es actualmente cultivada en la Guajira, su presencia en el mercado es escasa y su precio es de aproximadamente \$50000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 25. Moringa. Fuente: (Deporte y vida, s.f.)

○ Piñón

El piñón (*Jatropha curcas* L.) es la semilla propia de las especies del género *Pinus* (familia Pinaceae), procedente de la piña. Es de tamaño pequeño, forma alargada y color blanco, parecido en su sabor a la almendra, aunque más dulce y muy aromático. En Europa, los piñones proceden del *Pinus pinea*, pino piñonero, árbol originario de la cuenca mediterránea, de tronco grueso, que puede alcanzar más de 10 m de altura. Posee 14 gramos de proteína por cada 100 gramos (Federación Española de la Nutrición, s.f.) (Ver figura 26).

El piñón se encuentra en los climas tropicales y subtropicales plantado completamente al sol, resistiendo normalmente el calor (35 °C) aunque soporta por poco tiempo bajas temperaturas (18 °C) y escarchas ligeras. Su requerimiento de agua es sumamente bajo y puede soportar períodos largos de sequedad. Ecológicamente se adapta al trópico muy seco con precipitaciones de 250 mm hasta subtrópico húmedo con precipitaciones de más de 1,500 mm. Las plantas de piñón pueden encontrarse entre los 5 y los 1500 metros sobre el nivel del mar (msnm). El mejor desarrollo es alcanzado en terrenos ubicados entre los 600 a 800 msnm. La humedad relativa por las noches debe ser preferiblemente baja. Como cualquier cultivo frutal, responde mejor en suelos profundos, bien estructurados y preparados (franco arenoso a franco arcilloso) para que el sistema radicular pueda desarrollarse y explorar mayor volumen de suelo, satisfaciendo la necesidad de nutrientes de la planta. El rango de pH más recomendado es entre 6.0 y 8.0. La fructificación del piñón demora aproximadamente 90 días, desde el momento en que

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

se produce la floración hasta que el fruto alcanza su punto de cosecha (Bártoli, 2008) (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2013).

El rendimiento del piñón es de aproximadamente 1.500 kg/ha por año (Mendoza, López, Mejía, & Cedeño, 2015).

El Piñón es generalmente importado, su presencia en el mercado es escasa y su precio es de aproximadamente \$240000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 26. Piñón. Fuente: (Anonimo, s.f.)

○ **Pistacho**

El pistacho (*Pistacia vera* L.) es un árbol caducifolio dioico perteneciente a la familia Anacardiaceae, de ramificación abundante, copa amplia y porte de 5 a 7 m de altura. El fruto es rico en aceite (contenido medio: próximo al 55 %), de 2 a 2,5 cm de longitud, ovalado, seco, con cáscara dura, lisa y de color marrón, beige o rojo. La semilla es la parte comestible, compuesta por dos cotiledones voluminosos de coloración verde o verde amarillenta. Su peso aproximado es 1.40 g; y su sabor característico, dulce y lechoso. Cuando el fruto madura, las cáscaras se abren, separándose parcialmente. Poseen 17.6 proteínas por cada 100 gramos (Federación Española de la Nutrición, 2018) (Ver figura 27).

El árbol puede soportar humedad del aire muy baja y bajos niveles de humedad del suelo. Los altos niveles de humedad afectan negativamente al desarrollo del árbol. El árbol de pistacho crece mejor en zonas donde los inviernos son bastante fríos (para “romper” la latencia de los brotes) y los veranos son largos, secos y calientes (con temperaturas de 25 a 35,5°C), para que la fruta pueda madurar. En el clima caliente y seco, (en zonas cercanas al mar), el pistacho tiene un buen desempeño. En general, durante el período de latencia de los árboles, las bajas temperaturas de hasta -10°C, no dañan los árboles. Los pistachos pueden crecer bien en altitudes de hasta 670 metros, pero en algunos casos se cultivan incluso en altitudes de hasta 1000 metros. Entre los 5 y los 7 años de edad, el árbol del pistacho empieza a dar fruto. Su desarrollo es lento, pero la planta es muy longeva (American Pistachio Growers, s.f.)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El rendimiento medio en regadío de pistacho es de aproximadamente 2.000 kg/ha por año (S. Agroptima, s.f.).

El Pistacho es generalmente importado, su presencia en el mercado es escasa y su precio es de aproximadamente \$71000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 27. Pistacho. Fuente: (Pexels, 2018)

○ **Quinua**

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) es un cultivo andino domesticado hace miles de años por las antiguas culturas de la Región Andina de Sud América. La quinua es una planta anual, de hojas anchas y de gran porte, puede llegar a medir entre 2 y 2.5 m cada planta, y a diferencia de otras plantas de grano, tiene la particularidad de florecer antes de formar la semilla, sus flores son de color rojo o púrpura y se agrupan formando una especie de espiga en el extremo del tallo. El contenido de proteína en las semillas de quinua varía entre 14 y 22% (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016) (Ver figura 28).

La quinua se cultiva en Sud América en zonas geográficas que van desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m., en zonas con precipitaciones de 0 a 1000 mm, en suelos de diferentes texturas y con un rango de pH que fluctúa entre 4 a 9 y en temperaturas que pueden ser por debajo de cero a más de 30°C. La quinua debe cosecharse entre los 90 y los 120 días luego de la siembra. El rendimiento de quinua puede alcanzar los 7.000 kg/ha por año (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

La Quinua es generalmente importada, su presencia en el mercado es escasa y su precio es de aproximadamente \$12000 cada kilogramo en el Oriente Antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 28. Quinua. Fuente: (Recetas.com, 2018)

○ **Sacha inchi**

La sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo.) es una planta que pertenece a la familia de la Euphorbiaceae, originaria de la Amazonía (Álvarez & Ríos, 2007; Perúbiodiverso, 2009). Esta familia se caracteriza porque presenta plantas con una importancia económica ya que se obtienen productos tales como el caucho, la tapioca, ceras y aceites (Jiménez et al., 2000; Martínez et al., 2002). Es una planta trepadora, voluble, semileñosa con hábito de crecimiento indeterminado; en cuanto a sus hojas, son alternas de forma acorazonada de 10 a 12 cm de largo y de 8 a 10 cm de ancho, elípticos, aserrados y con pecíolos de 2 a 6 cm de largo. Las nervaduras nacen en la base de la nervadura central orientándose al ápice (Tasso et al., 2013). La almendra de la sacha inchi posee 28.92 gramos de proteína por cada 100 gramos y su aceite 33 gramos de proteína por cada 100 gramos (citado de Ayala Martínez, 2016) (Ver figura 29).

La Sacha Inchi se adapta desde los 100 a 2000 msnm (Manco, 2005; citado por Nima, 2007). Presenta un buen crecimiento y desarrollo en diversas temperaturas, pero la temperatura óptima para su crecimiento, oscila con un mínimo 10°C y un máximo de 36°C (Calram, 2007). La luz es otro factor ecológico importante en esta especie; mientras más luz reciba la planta, mayor es la población de brotes, flores y frutos; si la intensidad de luz es baja, la planta va a requerir mayor número de días para completar sus fases de crecimiento y desarrollo (Tasso et al, 2013). Tiene amplia adaptación a diferentes tipos de suelo, pero se deben elegir los suelos que posibiliten su mejor desarrollo y productividad. Para que la planta no se vea afectada por el suelo, es ideal que este suelo tenga una textura franco-arcillosa a franco y con un pH que oscile en un rango de 5,5 a 7,5. La ventaja de esta planta en cuanto al pH de los suelos es que tolera suelos ácidos y su crecimiento y desarrollo se ve reflejado en suelos de 5,5 a 6,5. Si los pH son muy alcalinos puede presentar susceptibilidad a este tipo de suelos. Además, el contenido de materia orgánica debe ser de medio a alto, la pedregosidad de media a baja y lo ideal es que en cuanto a fertilidad del suelo sea de media a alta (Andrade & Calderón, 2009). La

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

cosecha se realiza entre los 3 o los 4 meses después de iniciada la fructificación, es decir a los 5 o 6 meses posteriores a la plantación en campo; esta especie fructifica durante todo el año por lo tanto la cosecha debe realizarse de manera habitual (Gómez, 2004; Paitan, 2006 citado de Ayala Martínez, 2016).

El rendimiento promedio de sachá inchi es de aproximadamente 2.000 kg/ha por año (Perú biodiverso, 2009).

La Sachá Inchi es cultivada actualmente en el departamento antioqueño, sin embargo, su siembra es sumamente escasa en la región al igual que su presencia en el mercado. Su precio promedio es de \$32000 cada kilogramo en el Oriente antioqueño y Medellín (Central Mayorista de Medellín y Plaza de mercado “La Galería” Rionegro, 2018).



Figura 29. Sachá Inchi. Fuente: (Anónimo, s.f.)

3.2.2 Priorización y selección de cinco especies vegetales no tradicionales con alto contenido proteico.

A continuación, se presentará una tabla de priorización, en la cual se tuvo en cuenta la cantidad de proteína presente en el vegetal; frecuencia con la que se cultiva el producto en el Oriente Antioqueño; frecuencia del producto en el mercado del Oriente Antioqueño; el precio promedio al que se comercializa en el Oriente Antioqueño o Medellín; la aptitud del cultivo (esta variable toma en consideración la dificultad con la que se cultiva el vegetal en términos de recursos y requerimientos especiales y las condiciones ambientales del Oriente Antioqueño que deben estar en armonía con las necesarias para el desarrollo del cultivo) y por último, rendimiento del cultivo (este toma en consideración la cantidad producida por hectárea a lo largo de un año).

La calificación varió de 1 a 5, siendo 1 la mínima calificación y 5 la máxima. A mayor cantidad de proteína presente en el vegetal mayor puntaje; si la frecuencia de producción del cultivo y de comercialización del producto en el Oriente Antioqueño es baja, tendrá

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

también un mayor puntaje; a mayor precio de venta, mayor puntaje; finalmente a mayor aptitud del cultivo y mayor rendimiento, mayor puntaje.

Se buscó que los cinco productos seleccionados presentaran una mayor cantidad de proteína, en cuyo caso serían más apropiados para ser presentados como alternativa al consumo de carne de res; en la medida en que los cultivos y las ofertas sean menos frecuentes en el Oriente Antioqueño y el producto sea más costoso en el mercado, la producción local por medio del invernadero propuesto disminuirá los precios comúnmente establecidos en un mayor grado y brindará una mayor diversificación del mercado de productos vegetales con contenido proteico en el sector; los cultivos cuya producción sea menos compleja y en los cuales exista la posibilidad de generación en el Oriente Antioqueño incrementarán la viabilidad del proyecto; y por último, el rendimiento es una variable clave para asegurar una mayor producción a una velocidad más acelerada.

Cabe resaltar que la temperatura en el Oriente Antioqueño fluctúa generalmente entre los 13°C y los 22°C. En casos extremos puede bajar a menos de 11°C y subir a más de 24°C. Se encuentra a una altitud media de 2080 m.s.n.m. Esta información es importante para el análisis de la viabilidad de un cultivo determinado en el Oriente Antioqueño, lugar previamente seleccionado para el desarrollo del proyecto; sin embargo, es preciso señalar que los cultivos se realizarán al interior de un invernadero y que por tanto estas variables pueden llegar a controlarse hasta cierto punto en caso de ser necesario para el crecimiento del vegetal (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Priorización de especies vegetales por contenido proteico, frecuencia de cultivo en el Oriente Antioqueño, frecuencia en el mercado del Oriente Antioqueño, precio promedio del producto en el Oriente Antioqueño, aptitud del cultivo en el Oriente Antioqueño, rendimiento de la especie.

NOMBRE ESPECIE	CONTENIDO PROTEICO		FRECUENCIA DE CULTIVO		FRECUENCIA EN EL MERCADO		PRECIO PROMEDIO		APTITUD DE CULTIVO		RENDIMIENTO		PUNTAJE TOTAL
	Valor (%)	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor (\$/kg)	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor (kg/ha- año)	Puntaje	
Alcachofa	2.3	2	Moderada	3	Moderada	3	15000	4	Muy viable	5	20.000	5	22
Alfalfa	17.5	5	Nula	5	Escasa	5	10000 0	5	Viable	4	40.500	5	29
Amaranto	15.8	4	Nula	5	Escasa	5	17500	4	Muy viable	5	2.000	2	25
Bayas de Goji	12	4	Nula	5	Escasa	5	18000 0	5	Muy viable	5	4.500	3	27
Berro	3	2	Escasa	4	Escasa	5	67000	5	Viable	4	20.000	5	25
Canónigos	1.8	2	Nula	5	Nula	5	-	5	Muy poco viable	2	6.609	4	23
Kale	4.3	2	Escasa	4	Escasa	5	13000	4	Viable	4	9.800	4	23
Kañiwa	18.8	5	Nula	5	Nula	5	-	5	Poco viable	3	2.400	2	25
Maca	15	4	Nula	5	Escasa	5	75000	5	Viable	4	3.600	3	26
Moringa	2.5	2	Moderada	3	Escasa	5	50000	5	Muy viable	5	44.000	5	25
Piñón	14	4	Nula	5	Escasa	5	24000	5	Muy	2	1.500	2	23

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

							0		poco viable				
Pistacho	17.6	5	Nula	5	Escasa	5	71000	5	Poco viable	3	2.000	2	25
Quinoa	22	5	Nula	5	Escasa	5	12000	4	Muy viable	5	7.000	4	28
Sacha inchi	28.92	5	Escasa	5	Escasa	5	32000	5	Muy viable	5	2.000	2	27

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.2.3 Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.

Se seleccionaron: la Alfalfa, la Quinua, la Sacha Inchi, las Bayas de Goji y la Maca, como las cinco especies que se cultivarían en el invernadero de ciclo cerrado que será propuesto, esto debido a que obtuvieron los puntajes más altos en la tabla de priorización descrita previamente.

La Alfalfa fue el vegetal que obtuvo el puntaje más alto en la tabla de priorización (29). Esta planta cuenta con una gran cantidad de contenido proteico, posee uno de los rendimientos más altos entre los vegetales analizados, su cultivo es viable en el Oriente Antioqueño y la frecuencia de este es nula actualmente en la región, por tanto, el precio de la alfalfa es muy elevado y su presencia en el mercado es considerablemente baja. Su producción en el Oriente antioqueño reduciría los costos asociados a la importación de la alfalfa, diversificaría el mercado de productos vegetales con alto contenido en proteína y se vería favorecida por la escasa competencia presente en el mismo.

La Quinua cuenta con el segundo contenido proteico más alto de las especies vegetales analizadas, su rendimiento es moderado, es una especie cuyo cultivo es considerablemente viable en el Oriente antioqueño y que aún no se ha establecido en la región ni a nivel nacional, lo que brinda una gran oportunidad de negocio. Su presencia en el mercado es escasa y se vende a un precio modesto. La posible producción futura de este alimento en el Oriente antioqueño favorecería la diversificación del mercado de vegetales con contenido en proteína como alternativa al consumo de carne de res.

La Sacha Inchi aunque posee un rendimiento muy bajo, fue el vegetal con mayor contenido proteico de las especies analizadas. Su actual producción en el departamento confirma la viabilidad de cultivo de esta especie en el Oriente antioqueño, región en la que aún no se produce. Es escasa en el mercado, y su precio es moderadamente alto. La combinación de estos factores hace de la Sacha Inchi una de las especies más aptas para cultivar en el invernadero de ciclo cerrado que será propuesto con el objetivo de ofrecer alternativas para la obtención de proteína mediante la producción sostenible y el consumo responsable.

Las Bayas de Goji poseen un rendimiento medio-bajo que es compensado por su contenido proteico que es moderadamente alto, son escasas en el mercado y debido a que no existe su cultivo en el país, el precio de venta es sumamente elevado gracias a los costos asociados a la importación del producto. Esta especie puede ser cultivada en el Oriente antioqueño. Su producción a nivel local podría disminuir el precio de venta y hacer este vegetal más accesible al consumidor, brindando nuevas alternativas de consumo.

Por último, se seleccionó la Maca como una de las cinco especies vegetales a cultivar en el invernadero por su alto contenido proteico, su viabilidad de cultivo en el Oriente antioqueño, su escasa presencia en el mercado y su elevado precio de venta.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3 PRÁCTICAS SOSTENIBLES NECESARIAS PARA LA GENERACIÓN DE UN MODELO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN CICLO CERRADO.

El origen del concepto de desarrollo sostenible se gestó a partir de la preocupación creciente de la comunidad internacional a medida que se reconocieron los impactos negativos y las consecuencias de dichos impactos en la calidad de vida humana, que tenían su origen en el desempeño de actividades antrópicas cuyo único objetivo era el crecimiento económico y el dinamismo social.

El término “desarrollo sostenible” aparece por primera vez de forma oficial en 1987 en el Informe Brundtland (Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, 1987 citado de Artaraz, 2002), y fue definido como “el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Actualmente existen múltiples interpretaciones del concepto de desarrollo sostenible, todas fundamentadas en tres pilares: el ecológico (se debe proteger, conservar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales); el económico (las medidas a tomar para asegurar el bienestar del medio ambiente deben ser económicamente viables) y social (dichas pautas deben ser socialmente equitativas) (Artaraz, 2002).

Según este informe, los “objetivos críticos en una política de desarrollo y medio ambiente que cumplimenten el concepto de desarrollo sostenible son (Gómez Gutiérrez, s.f.):

- Revivir el crecimiento económico.
- Cambiar cualitativamente el crecimiento.
- Satisfacer necesidades elementales de trabajo, alimentación, agua, energía y sanidad.
- Asegurar un nivel sostenible de población.
- Conservar y reforzar la base de recursos naturales.
- Reorientar la tecnología y el manejo de riesgos.
- Unir los aspectos económicos y ambientales en la toma de decisiones.”

El desarrollo sostenible en la agricultura busca minimizar los impactos y la degradación del medio ambiente, impulsando al máximo su producción. Este considera el uso adecuado del suelo y el agua; el óptimo manejo de cultivos y la conservación de la biodiversidad; y a su vez, el suministro de alimentos y materias primas. La sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola se refiere a la capacidad del sistema para mantener su productividad a pesar de las perturbaciones económicas y naturales, externas o internas (Martínez Castillo, 2009).

En Colombia, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, apela a la sostenibilidad como uno de los ejes centrales de su política. Los objetivos propuestos número 2 y número 12 afirman que se promoverá la agricultura sostenible y se garantizarán los patrones de consumo y producción amigables con el medio ambiente (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2014).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El presente trabajo busca brindar una opción a la producción de alimentos de origen vegetal con alto contenido en proteína, cuyos impactos ambientales negativos sean los mínimos posibles. Adicional al reemplazo de la producción de carne por cultivos de vegetales alternativos, se propone que dichos cultivos sean ejecutados bajo condiciones sostenibles, en un invernadero de ciclo cerrado.

Ciclo cerrado:

Se define al sistema de producción de ciclo cerrado como aquel que no intercambia materia y energía con el mundo exterior. Si bien es preciso afirmar que ningún sistema de producción puede ser completamente cerrado, es posible transformarlos en circuitos aislados hasta cierto punto, mediante la aplicación de diferentes prácticas sostenibles.

Los sistemas que se desarrollan bajo la adopción de un modelo de ciclo cerrado, reducen considerablemente los impactos negativos al medio ambiente gracias a su cualidad de “autosuficiencia” y a su relación íntima con el concepto de “sostenibilidad”. Este modelo no sólo conlleva a implicaciones medioambientales positivas sino también económicas, reduciendo los costos de producción mediante un máximo aprovechamiento de los recursos disponibles al interior del sistema (Sustainable Plant, 2011).

3.3.1 Bibliografía de prácticas sostenibles agrícolas para la generación de un modelo de producción en ciclo cerrado.

Existen diferentes prácticas sostenibles que pueden ser implementadas en los sistemas de producción agrícola con el fin de convertirlos en circuitos de ciclo cerrado y de reducir sus impactos ambientales negativos. A continuación, se realizó una búsqueda bibliográfica de las prácticas que se desean implementar en el invernadero de ciclo cerrado que será posteriormente propuesto con el objetivo de identificar su modo de operación y beneficios ambientales.

○ Biodigestión

La Biodigestión o Digestión Anaeróbica, consiste en un proceso biológico complejo llevado a cabo por microorganismos anaerobios, es decir, que trabajan en ausencia de oxígeno transformando la materia orgánica (residuos domésticos, restos de cosechas, efluentes industriales, estiércoles, etc.) principalmente en dos componentes: biogás o gas biológico y un efluente biofertilizante o bioabono rico en nutrientes; este último a su vez se divide en dos fases: líquida y sólida. El proceso de biodigestión se desarrolla de manera natural en el tracto intestinal de los animales, en los vertederos municipales, en los pozos negros y en el “gas de los pantanos”, sin embargo, también puede reproducirse de manera controlada y con objetivos específicos mediante la utilización de un biodigestor (Universidad Autónoma de Entre Ríos, s.f.).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Un biodigestor es un tanque cerrado de cualquier forma, tamaño y material; en el cual se almacenan residuos orgánicos mezclados con agua que al descomponerse en ausencia de aire generan biogás y biofertilizante. Es definido por el diseño de la planta en función de las variables del proceso, ambientales y de utilización del sistema (Corona Zúñiga, 2007).

El biogás está compuesto esencialmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo otros gases y vapor de agua en pequeñas concentraciones; posee un gran valor energético y puede transformarse en electricidad y/o calor utilizando unidades de cogeneración. La electricidad producida puede ser consumida directamente en el establecimiento o para alimentar la red pública. Al mismo tiempo, el calor generado puede aprovecharse para calentar establos, viviendas, edificios, procesos industriales e incluso puede utilizarse para regular la temperatura del biodigestor.

Por otro lado, el bioabono está conformado principalmente por nitrógeno; este producto suele asemejarse a un lodo o colada al final del proceso de biodigestión, en donde la fase sólida y líquida se encuentran mezcladas. Mediante un sistema de tamizado es posible separar la mayor cantidad de bioabono líquido que podrá ser empleado directamente como fertilizante foliar o para riego; el bioabono sólido restante deberá deshidratarse para eliminar la humedad residual, con el objeto de ser posteriormente compostado y empleado como abono (Cadavid, 2018).

Beneficios

Mediante la utilización de un biodigestor, el biogás se transforma en un biocombustible que, generado a partir de los propios desechos orgánicos de un productor agrícola, permitirá minimizar el impacto ambiental desencadenado por el consumo energético habitual y los residuos orgánicos producidos por la industria, evitando la emisión directa de gases de efecto invernadero (que serán empleados como fuente energética) a la atmósfera y reduciendo la proliferación de vectores, agentes patógenos y olores (Gon, 2008).

Por otro lado, se minimiza el potencial de carga contaminante producida por el depósito de residuos orgánicos de origen agrícola en suelos y agua. El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos, amortiguando el impacto ambiental negativo generado por estos últimos. Los biodigestores también representan una muy buena alternativa para evitar la tala de árboles destinados para la leña (Gon, 2008).

Desde el punto de vista económico, el productor puede ahorrar en gastos de tratamiento, almacenamiento y transporte de residuos; uso de combustibles fósiles para calefacción y fertilizantes adicionales. Al mismo tiempo, le permitirá al productor disminuir los costos asociados al consumo energético puesto que estará en condiciones de generar su propia energía (Gon, 2008).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

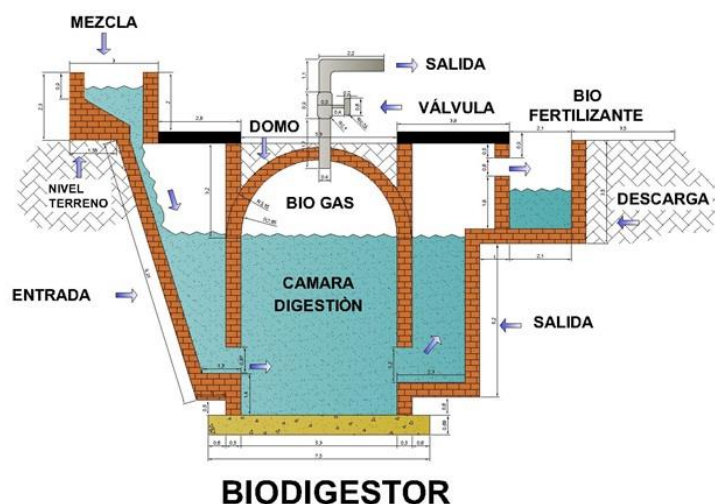


Figura 30. Biodigestor. Fuente: (Grupo de Trabajo de Investigación y Desarrollo Islas Canarias, s.f.)

○ **Biopesticidas**

Los biopesticidas son empleados en la agricultura para el control biológico de plagas y enfermedades de especies vegetales. Se presentan como una alternativa ecológica a los productos sintéticos. Estas sustancias naturales se utilizaron como primera herramienta en el control de insectos y después fueron reemplazados por los insecticidas sintéticos. No obstante, siempre se han empleado en la agricultura tradicional como una técnica autóctona de combate de plagas (Whelan, s.f.).

Actualmente se distinguen tres grandes grupos de biopesticidas (Whelan, s.f.):

- Los productos formulados con unidades infectivas de organismos patógenos (bacterias, virus, hongos, protistas y nematodos) como ingrediente activo.
- Los productos elaborados con extractos provenientes de plantas, los cuales poseen características de insecticidas, nematicidas, fungicidas o repelentes contra insectos. Los compuestos generados por estas plantas son de baja toxicidad para los vertebrados y si bien se degradan rápidamente, son muy eficientes para controlar varias plagas. Los biopesticidas vegetales pueden obtenerse a partir de flores, raíces, tallos, hojas o de la planta entera en forma de macerado, infusión o polvo.
- La utilización de insectos, parasitoides y predadores, recurso que ha demostrado ser una eficaz alternativa para el control biológico de plagas. Este método puede ser muy eficaz siempre y cuando se considere la correcta identificación y estimación tanto de la plaga que afecta al cultivo como de su enemigo natural, la compra adecuada de enemigos naturales y la correcta eficiencia de ellos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Beneficios

Los biopesticidas representan un menor riesgo para el medio ambiente que los pesticidas sintéticos puesto que son de fácil descomposición, por lo tanto, los controladores biológicos (organismos benéficos para el cultivo) se ven menos afectados y los suelos y el recurso hídrico no son contaminados por estos, su rápida degeneración permite que sean aceptados y permitidos en los procesos de producción orgánica debido a que no dejan residuos, lo cual facilita el logro de inocuidad alimentaria. Adicionalmente, el control de plagas mediante este sistema asegura la producción de alimentos sanos y los patógenos tienden a desarrollar menor resistencia a productos microbianos que a productos químicos (Fernández & Juncosa, 2002).

En términos económicos, el uso de biopesticidas representa una ventaja gracias a la baja inversión necesaria para producirlos, a la posibilidad de obtenerlos por procesos sencillos que no requieren gran infraestructura y a su facilidad de aplicación. Los insectos asociados a esta práctica están disponibles libremente, no son patentables y pueden ser criados por los mismos productores (Lanza, Flores, Bacarreza, Mollo, & Zuleta, 2012).

○ **Compostaje**

El compostaje es la degradación aeróbica (en presencia de oxígeno) de materia orgánica por la acción de microorganismos en condiciones “controladas” de aireación, humedad y temperatura, transformándola en un producto más estable denominado “compost” que puede ser aplicado al suelo como sustrato o abono (Yu et al, 2008; Senesi, 1998 citado de Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013).

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC-5167, el compostaje es el proceso de oxidación aerobia de materiales orgánicos que conduce a una etapa de maduración mínima (estabilización), que se convierten en un recurso orgánico estable y seguro para ser utilizado en la agricultura (NTC-5167) (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Beneficios

Uno de los problemas ambientales asociados a las explotaciones agrícolas son los residuos orgánicos que se generan en el proceso productivo (restos de poda, de cosecha, de post-cosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros). Normalmente, estos residuos son quemados generando emisiones de CO₂, conducidos a rellenos sanitarios en donde pueden generar lixiviados o simplemente abandonados a la intemperie hasta su pudrición, desperdiciando por completo su potencial de aprovechamiento. El compostaje proporciona la posibilidad de transformar los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola, reduciendo los impactos ambientales y los costos de producción (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 31. Compostaje. Fuente: (Anónimo, s.f.)

○ **Cosecha de agua lluvia**

La cosecha de agua lluvia es según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, s.f.), “La captación de la precipitación pluvial para usarse en la vida diaria”.

Esta es una práctica efectiva que busca hacer un buen manejo de los recursos naturales partiendo de un principio de desarrollo desde las propias capacidades y potencialidades de los actores locales, con la finalidad de tener una mejor utilización y aprovechamiento sustentable del recurso hídrico (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, Sumak Kawsay, JICA, 2015).

La idea de aprovechamiento de aguas lluvias tuvo su origen en la necesidad de dar respuesta a la reducción de la oferta hídrica en muchas ciudades del mundo, que surge debido a la contaminación de las aguas superficiales, a los procesos de degradación de las cuencas y al cambio climático (Reyes & Rubio, 2014).

Según el CEPESI y Ghisi, Lapolli y Martini, un sistema básico de cosecha de agua lluvia cuenta con diferentes componentes que serán definidos a continuación (Palacio Castañeda, 2010):

1. **Captación:** Es la superficie destinada a la recolección de agua lluvia. La mayoría de los sistemas utilizan la captación en los techos, los cuales deben tener adecuada pendiente y superficie, que faciliten el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección. Los materiales empleados para los techos pueden ser las tejas de arcilla, madera, paja, cemento, entre otros.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2. **Recolección y conducción:** Es el conjunto de canaletas en los bordes más bajos del techo, construidas con el objetivo de recolectar el agua lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Para tal objetivo se pueden emplear materiales como el bambú, la madera, el metal o el PVC.
3. **Interceptor de primeras aguas:** Es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y el agua recolectada temporalmente por el interceptor. El interceptor consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de los bajantes unidos a las canaletas. El tanque interceptor debe contar con una válvula de flotador que permita su llenado, cuando éste alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento.
4. **Almacenamiento:** Es el depósito destinado a la acumulación, conservación y abastecimiento de agua lluvia. La unidad de almacenamiento debe ser duradera; impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración; de no más de dos metros de altura para minimizar las sobre-presiones; contar con una tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y luz solar; disponer de una escotilla con tapa que permita el ingreso para la limpieza y las reparaciones necesarias; estar dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje; y la entrada y el rebose deben poseer mallas que eviten el ingreso de insectos y animales.
5. **Sistema de filtración rápida:** El sistema debe tener una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia.
6. **Red de distribución de agua lluvia:** Esta red debe ser paralela a la red de acueducto y llegar a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, así que deberá protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable. El sistema de bombeo distribuirá el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las unidades sanitarias requeridas.

Beneficios

La cosecha de agua lluvia cuenta con múltiples beneficios ambientales, económicos y sociales. Contribuye a la conservación de las reservas de agua potable (ríos, lagos, humedales y acuíferos), fomenta la cultura de protección y cuidado del recurso hídrico, reduce la utilización de energía y químicos empleados para el tratamiento de agua lluvia

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

en las ciudades y aminora el volumen de agua potable empleada en aplicaciones no potables.

Adicionalmente, el agua lluvia es un recurso gratuito y de fácil manipulación, relativamente limpio y trae consigo la reducción en la tarifa de consumo de agua potable.

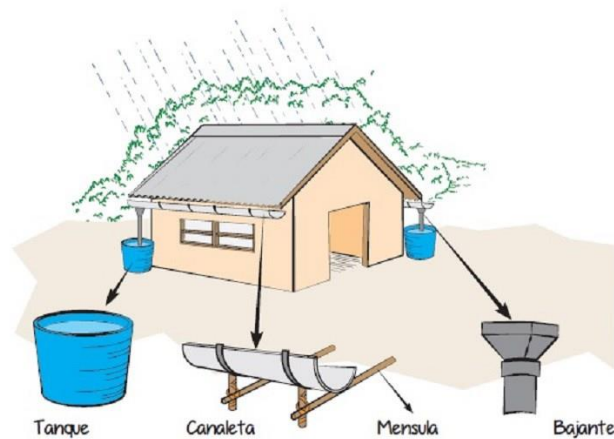


Figura 32. Cosecha de agua lluvia. Fuente: (EcoInvento, 2018)

○ **Fertilización carbónica**

Se denomina fertilización carbónica o enriquecimiento carbónico al aporte complementario de dióxido de carbono (CO_2) en cultivos hortícolas y/o ornamentales mediante un aumento en el nivel ambiental de este gas (fertilización carbónica atmosférica) o inyectando CO_2 en el sistema de riego (fertilización carbónica en riego) (Antón, et al., 2011; Carrero, Díez, Guillén, Gutiérrez, & Jiménez, 2009).

El dióxido de carbono presente en la fotosíntesis debe encontrarse entre las 700 y 1000 ppm durante los períodos de mayor luminosidad, es por esto que este sistema ha sido empleado desde hace varios años puesto que incrementa los niveles de CO_2 al interior del invernadero hasta aproximadamente doblarlos (700-800 ppm). Si la concentración de CO_2 del aire baja por algún motivo, la difusión hacia el interior de los cloroplastos será menor, por lo cual se limitará la fotosíntesis y al mismo tiempo, la producción de frutos (Antón, et al., 2011; INFRA, s.f.)

Existen diferentes técnicas para la aplicación de fertilización carbónica (Carrero, Díez, Guillén, Gutiérrez, & Jiménez, 2009):

- Aporte de CO_2 pasivo, que emplea sistemas de ventilación cenital y lateral propios de la estructura del invernadero, con el fin de favorecer el intercambio de aire con el entorno exterior, sin embargo, únicamente aporta la concentración presente en

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

el ambiente (300-400 ppm), lo que conlleva a que, durante la mayor actividad fotosintética, el invernadero no cuente con la capacidad de satisfacer la demanda de CO₂ mínima que exige el cultivo para su crecimiento.

- Aporte de CO₂ por medio de procesos de combustión, estos pueden generarse a partir de petróleo, gas LP, diésel o combustóleo. Además de dióxido de carbono esta técnica genera calor, que puede ayudar a mantener una temperatura adecuada para el cultivo, sin embargo, se pueden producir gases tóxicos para la planta como el CO y el NOx.
- Aporte de CO₂ antropogénico, este proviene de procesos industriales de combustión, el cual es purificado, concentrado y licuado, para su almacenamiento y/o transporte de pipas.

Beneficios

La fertilización carbónica incrementa entre un 25 y un 40% la producción y el rendimiento de las cosechas, gracias a esto permite adelantar la época de recolección (precocidad de los cultivos) aproximadamente un 20% y realizar siembras tardías sin retraso de las cosechas. Esta práctica acidifica el suelo, optimizando la asimilación de nutrientes y la actividad metabólica; mejora la calidad de las hortalizas, frutos y flores (densidad por planta, coloración, tamaño, sabor, consistencia, etc.); aumenta la resistencia a plagas y enfermedades; disminuye los gastos en agroquímicos y, por ende, el impacto negativo al medio ambiente; a su vez reduce las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático en el planeta mediante la captura de CO₂. Adicionalmente evita incrustaciones en los goteros, aminorando los costes de mantenimiento; mejora la rentabilidad y el valor añadido de los productos con una inversión mínima dando lugar a precios más competitivos, el producto cuenta con una calidad consistente y disminuye la inversión en equipos (fuente COTEC citado de Carrero, Díez, Guillén, Gutiérrez, & Jiménez, 2009; INFRA, s.f.).

3.3.2 Análisis y conclusiones de la bibliografía de prácticas sostenibles.

Es preciso afirmar que las características propias de las prácticas sostenibles previamente descritas encajan perfectamente con la definición de “ciclo cerrado” y facilitan la amortiguación de los impactos ambientales negativos generados por la industria agrícola, a través del uso de insumos menos invasivos; de la reutilización de desechos para la producción de materias primas y energía que disminuyan el consumo de recursos y la contaminación; de un aprovechamiento más eficiente y un mejor uso del potencial productivo de un material.

Por otro lado, ninguna de dichas prácticas es mutuamente excluyente y por tanto pueden ser llevadas a cabo conjuntamente al interior del invernadero e integradas entre sí con el objeto de conformar el sistema de la manera más eficaz posible.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERNADERO DE CICLO CERRADO.

3.4.1 Bibliografía de las especificaciones técnicas de cultivo para las cinco especies vegetales seleccionadas.

A continuación, se darán a conocer las especificaciones técnicas para el cultivo de las cinco especies vegetales con alto contenido proteico seleccionadas previamente (alfalfa, quinua, sacha inchi, bayas de goji y maca), teniendo en cuenta las condiciones de riego, condiciones ambientales, condiciones de sustrato y control fitosanitario de cada una.

Alfalfa

Condiciones de riego

La alfalfa se caracteriza por ser un cultivo con un alto consumo de agua gracias a su amplio sistema radicular de tipo pivotante; es preciso recordar, sin embargo, que los aportes excesivos pueden contribuir con el despilfarro del recurso hídrico y los aportes escasos con una disminución significativa en el rendimiento (Anaya Camacho, 2004).

Con el fin de calcular la cantidad y la frecuencia de riego es fundamental reconocer las características de retención de agua en el suelo mediante un análisis del mismo a través de los siguientes parámetros: capacidad de campo, punto de marchitez permanente y humedad aprovechable (en el caso particular de la alfalfa se puede inferir una humedad aprovechable del 20% si se emplea el sistema de riego por goteo). Otro factor importante que debe ser tomado en consideración es la evapotranspiración; éste parámetro depende de las condiciones climáticas de la zona, la variedad de la semilla y el tamaño, densidad y cobertura total de la siembra (Anaya Camacho, 2004).

Se estima que la frecuencia de riego del cultivo de alfalfa ronda las 3 veces por semana y el volumen de la lámina de riego es de aproximadamente 5 mm/día, aumentando o disminuyendo según los parámetros previamente descritos. La precipitación promedio anual óptima para el cultivo de alfalfa es de 1.200 mm (Anaya Camacho, 2004).

Por otro lado, la salinidad del agua de riego (ECw) dada en milimhos (mmhos) o en deciSiemens por metro (dS/m) mínima para el crecimiento de un cultivo de alfalfa debe ser de 0.75 dS/m. Según un estudio del INIFAT, si se desea obtener un potencial de producción del 100% la salinidad del agua debe ser de alrededor de 1.3 y para un potencial de producción del 90% de alrededor de 2.2 (Villanueva Díaz, Loredó Osti, & Hernández Reyna, 2001).

Algunas investigaciones recomiendan combinar el sistema de riego por aspersión y el sistema de riego por goteo con el objeto de obtener mejores resultados. El sistema de riego por aspersión es empleado al momento de establecer la plantación, debe estar en operación como mínimo los primeros tres meses luego de dar inicio a la siembra; pasado este periodo, la alfalfa habrá desarrollado un sistema radicular profundo, con capacidad

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

para captar el agua que será posteriormente irrigada por el sistema de goteo (Anaya Camacho, 2004).

Para el riego de mantenimiento se recomienda recurrir al sistema de riego por goteo, en cuya construcción se deberá considerar el ciclo vegetativo perenne del cultivo de alfalfa, que oscila entre 5 y 7 años. Este sistema estará en operación continua a lo largo de dicho periodo una vez que el cultivo se establezca (Anaya Camacho, 2004).

Es de vital importancia seleccionar con cuidado el diseño y los materiales que formarán parte del sistema de riego por goteo; por otro lado, para la correcta aplicación de la cantidad de agua en el cultivo de alfalfa mediante este sistema, es necesaria la utilización de instrumentos de medición especializados como los tensiómetros que indican la intensidad con la que se retiene la humedad en el suelo. Las profundidades más recomendables para ubicar el tensiómetro son 30 cm y 60 cm. Dicho monitoreo deberá ser llevado a cabo de manera constante (Anaya Camacho, 2004).

El crecimiento del cultivo de alfalfa mediante el sistema de riego por goteo puede llegar a inducir un nivel productivo 2.3 veces mayor a la producción obtenida mediante la implementación de un sistema de riego rodado, adicionalmente, el ahorro del recurso hídrico utilizando el sistema de riego por goteo es 30% mayor en comparación con el sistema de riego rodado (Anaya Camacho, 2004).

Condiciones ambientales

El cultivo de alfalfa se adapta a climas que pueden variar entre templados hasta cálidos y secos, y crece entre los 0 y los 2440 m.s.n.m. Dentro de las variables climatológicas que se consideran determinantes en la bibliografía para el desarrollo de la alfalfa están la temperatura, el fotoperiodo, la radiación solar, la evapotranspiración y la humedad disponible en el suelo o el estrés hídrico (Quiroga Garza, 2013)

La temperatura mínima que tolera el cultivo de alfalfa es de poco menos de 5°C y la máxima poco más de 30°C, siendo el rango situado entre los 15 y los 25°C el más adecuado para su crecimiento durante el día y entre los 10 y los 20°C el rango adecuado durante la noche. Se ha reportado que en regímenes de temperatura (día/noche) de 21/8°C se produce un mayor dinamismo de la actividad y translocación de carbohidratos a la corona y la raíz de la planta, reduciéndose en regímenes de 12/2°C y aún más en 34/25°C (Al-Hamdani y Todd, 1990^a citado en Quiroga Garza, 2013), disminuyendo el metabolismo e incrementando la tasa de respiración puesto que la tasa de asimilación neta de CO₂ aumenta al pasar de una temperatura ambiente de 18°C a 21°C de 12.9 a 18.9 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹, pero no al llegar a los 35°C (Al-Hamdani y Todd, 1990^b citado en Quiroga Garza, 2013). La respiración nocturna de la alfalfa aumenta de manera lineal de 0.6 a 4.4 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹, al incrementar la temperatura de 10 a 50°C (Brown y Radcliffe, 1986 citado en Quiroga Garza, 2013)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Varios estudios afirman que conservar un adecuado rendimiento de la alfalfa es más sencillo en primavera y verano que en invierno y otoño, esto debido a que el crecimiento del cultivo de alfalfa es directamente proporcional al fotoperiodo; es decir que a medida que aumenta la cantidad de horas de exposición de la planta a la luz solar también aumenta la producción de forraje. La alfalfa es una especie cuantitativa de día largo que tiende a florecer más rápidamente en fotoperiodos prolongados, generalmente superiores a 12 horas. (Horrocks y Vallentine 1999 citado en Clavijo Villamizar & Cadena Castro, 2011; (Villegas Aparicio, et al. 2004).

Condiciones de sustrato

La selección y preparación del suelo es clave para asegurar la eficiencia y calidad del cultivo de alfalfa. Las parcelas destinadas a la producción de este forraje deben contar con suelos profundos y que no sean fácilmente inundables puesto que la asfixia radicular es una de las principales problemáticas que influyen en el crecimiento de la especie (García González, s.f.).

Es necesario realizar la rotura de la cubierta vegetal y la aradura antes de comenzar la siembra. Generalmente la siembra convencional logra menor cobertura, da lugar a una mayor temperatura del suelo y disponibilidad de nutrientes, condiciones que favorecen el desarrollo inicial, y exige cuidado en términos de la profundidad de siembra y control de malezas. La siembra directa tiene ventajas en cuanto al manejo del agua y las malezas y el control de la profundidad, pero habitualmente los suelos tienen mayor cobertura, se logra menor crecimiento inicial y la incidencia de insectos es mayor. La siembra en hileras es una práctica generalizada, y se recomienda usar el menor distanciamiento posible para lograr una mejor distribución de las plantas. Es preciso mencionar que las dosis de semilla para la siembra de alfalfa utilizadas son muy variables, desde 7 hasta 20 kg/ha (INTA, s.f.).

Para el cultivo de alfalfa se recomiendan suelos de texturas no arcillosas; este no debe poseer un PH con valores inferiores a 6.2 puesto que la producción se puede ver afectada, si el suelo presenta condiciones desfavorables en este aspecto, estas pueden corregirse adicionando cal (técnica de encalado). La salinidad del suelo debe ser mayor a 104 dS/m. (INTA, s.f.; Anaya Camacho, 2004; INIA KAMPENAIKE, 2012)

Con el objeto de asegurar una óptima preparación del suelo, se sugiere adicionar valores por encima de las 225 ppm de fósforo, por ser este uno de los nutrientes más importantes que limitan la producción de alfalfa. Es necesario realizar fertilizaciones fosforadas periódicamente debido a la escasa movilidad de este elemento en el suelo. La deficiencia en potasio, calcio, magnesio, azufre (macronutrientes), zinc y boro (micronutrientes), también puede limitar las condiciones de cultivo de este forraje (INTA, s.f.).

La dosis de fertilización de la siembra depende del análisis de suelo y del potencial productivo. Tradicionalmente se podrían considerar valores de 40, 30 y 20 un/ha de P_2O_5 , K_2O y $S-SO_4$, respectivamente (equivalentes aproximadamente a 85, 50 Y 130 kg/ha de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

superfosfato triple, muriato de potasio y fertiyeso granulado, respectivamente). Los fertilizantes deben abordar los primeros 3 a 4 cm de suelo. Es preciso considerar que a partir del segundo año no es necesario aplicar nitrogenados puesto que esta es una especie que fija nitrógeno ambiental mediante cepas de *Rizobium* inoculando la semilla (Anaya Camacho, 2004; INIA KAMPENAIKE, 2012).

Control fitosanitario

Al momento de la compra de la semilla de alfalfa lo habitual es que esta se encuentre curada (inoculada, peleteada y con insecticida). Estos tratamientos previos son de vital importancia para una buena implantación. El nitrógeno es un nutriente que condiciona la producción de forraje, y está mayormente provisto por *Rhizobium*, que aporta los inoculantes; el peleteado mejora la implantación puesto que protege al cultivo del ataque de hongos y microorganismos patógenos; y el curado con insecticidas ayuda a mitigar el impacto de plagas sobre la siembra de alfalfa (INTA, s.f.).

En general, los cultivos de alfalfa no presentan problemas importantes de plagas o enfermedades, sin embargo, cuando estas surgen pueden llegar a generar pérdidas económicas significativas, en estos casos es recomendable adelantar el corte y evitar la aplicación de insecticidas. Las principales plagas que afectan al forraje de alfalfa son: pulgón verde y manchado, minador de la hoja, periquito tricornudo, chinche *Lygus*, chicharritas y gusano trozador; y las principales malezas son: malva, quelite, mostacilla, gramma y zacate buffel. Los herbicidas sólo pueden ser aplicados luego del corte de alfalfa cuando el área ha sido afectada en gran medida (Anaya Camacho, 2004).

Quinua

Condiciones de riego

La quinua se cultiva dentro de un rango de precipitación de 300 mm a 1000 mm al año, en la región andina la precipitación puede reducirse incluso a los 200 mm al año. Se considera que el rango de precipitación óptimo para este forraje es de 500 a 800 mm. Según el tipo de suelo y su capacidad de almacenamiento de humedad, una precipitación de entre 60 y 100 mm se considera adecuada para un buen establecimiento del campo (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

Es preciso indicar que la quinua es una especie resistente a las condiciones de sequía, esto gracias a diversos mecanismos en la planta como su sistema radicular profundo y ramificado, su habilidad para reducir el área foliar por eliminación de hojas en condiciones de estrés, la presencia de vesículas que contienen oxalato de calcio que es higroscópico y reduce la transpiración, permitiendo preservar la turgencia aún en pérdidas severas de agua (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El riego debe realizarse de manera que proporcione al cultivo la cantidad de agua requerida para su crecimiento y desarrollo óptimo. Para la instalación del sistema de riego y drenaje es necesario identificar las áreas menos accesibles, los sectores donde el agua se empoza y la pendiente con la ayuda de un plano topográfico; es preciso mencionar que el cultivo de quinua se ve muy afectado por inundaciones. La demanda de agua aplicada al cultivo varía según el suelo (arenoso, franco, arcilloso, etc.), el clima (invierno, primavera, verano, otoño), el sistema de riego empleado y la variedad de alfalfa (precoz o tardía). Se estima que el cultivo de este forraje requiere entre 5000 y 10000 m³ empleado el riego de gravedad y entre 3500 a 7500 m³ con riego por goteo (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

Condiciones ambientales

La quinua fue domesticada y sembrada durante miles de años en zonas que van desde el nivel de mar o costa (0 a 500 m.s.n.m.), la yunga (500 hasta 2500 m.s.n.m.); sierra media – zona quechua o valles interandinos (2500 – 3500 m.s.n.m.) y hasta la sierra alta, Suni o Altiplano (3500 a 4000 m.s.n.m.); dando lugar al surgimiento de diversos tipos de quinuas. Gracias a su amplia variabilidad genética, la quinua puede adaptarse a diversos climas. La temperatura óptima para su crecimiento oscila en un rango entre 15 y 25°C. Puede tolerar las heladas y temperaturas altas durante las fases de desarrollo vegetativo y la formación de la inflorescencia y no desde la floración hasta el estado de grano pastoso. Tanto las bajas como las altas temperaturas originan esterilidad de polen y afectan el desarrollo y crecimiento de la planta, dependiendo del momento en que se produce el estrés de temperatura (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

Las variedades de quinua que se originan en el trópico se caracterizan por una mayor sensibilidad al fotoperiodo a diferencia de las variedades del altiplano y cultivadas sobre el nivel del mar, que conservan una sensibilidad menos al fotoperiodo. Al momento de la introducción del cultivo de quinua en nuevas regiones, es importante conocer el origen de las variedades a cultivar con el fin de identificar las condiciones ambientales más adecuadas para el desarrollo del cultivo. La quinua prospera adecuadamente con un fotoperiodo de hasta 12 horas en el hemisferio sur y un día de hasta 14 horas en el hemisferio norte. En general, es recomendable evitar días largos que afecten el proceso de formación de los granos y el rendimiento (Miranda, 2012).

Condiciones de sustrato

La quinua crece en un amplio rango de tipos de suelo, considerándose como los más adecuados aquellos suelos francos de buen drenaje, semi profundos (de entre 60 a 90 cm) y con un alto contenido en materia orgánica. Es de vital importancia evitar zonas en donde se presenten problemas de inundación o anegamiento puesto que dificultan el establecimiento inicial del cultivo y propician la podredumbre radicular. Dependiendo de la variedad de quinua, esta se puede sembrar en suelos que se distribuyen entre un PH de 4.5 y 9.0, sin embargo, el PH debe ser preferiblemente neutro o próximo a este, entre 5.5

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

y 7.8, fuera de este rango puede originarse reducción en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Si el suelo presenta condiciones ácidas se puede adicionar cal para incrementar paulatinamente el PH, ésta debe ser aplicada pocos meses antes de la siembra y realizarse cada dos o tres campañas dependiendo del cambio de PH luego de la aplicación. Los suelos ligeramente alcalinos pueden acarrear un contenido bajo en hierro, manganeso, boro y zinc (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

Debido a la alta demanda de nutrientes de esta especie, la fertilización juega un papel protagónico en el crecimiento de la quinua. Es necesario tomar una muestra de suelo del área seleccionada para el cultivo, siguiendo el protocolo establecido, con el objeto de determinar los nutrientes disponibles y su cantidad. Una buena fertilización puede corresponderse con rendimientos elevados en la producción y viceversa. Para su óptimo crecimiento la quinua requiere de macro elementos como el carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y micro elementos como el hierro, boro, zinc, sodio, cobre, cobalto, cloro, sílice y molibdeno. El carbono, oxígeno e hidrógeno provienen del aire, los elementos restantes deben ser aplicados directamente a la planta dependiendo del suelo (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

El nitrógeno es un elemento que a menudo limita el rendimiento de la quinua, éste incrementa el crecimiento vegetativo, la capacidad fotosintética de la planta y contribuye a la cantidad de proteína presente en la misma. Es posible mejorar la disponibilidad de nitrógeno en el suelo mediante la rotación de leguminosas o papas cultivadas previamente en el lugar; mediante la generación de abonos verdes que incrementen el contenido de materia orgánica y nitrógeno. En ambas prácticas se reduce la cantidad de fertilizantes y por ende los costos de producción y la contaminación ambiental (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

El fósforo mineralizado de materia orgánica es más beneficioso que el fósforo inorgánico puesto que el primero está disponible en el suelo por mucho más tiempo, facilitándole a la planta la absorción del nutriente. El fósforo es absorbido por la planta casi en su totalidad en las primeras fases de desarrollo, principalmente para la formación de un buen sistema radicular, por esta razón, éste debe ser aplicado a la siembra. Una manera de incrementar la disponibilidad de fósforo en el suelo es cultivar quinua luego de la siembra de cultivos de abono verde; otra forma es empleando micorrizas de la raíz aisladas de la quinua, que tienen una relación simbiótica con las raíces y pueden mejorar la absorción de nutrientes (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

La quinua absorbe potasio en grandes cantidades, la deficiencia de éste se manifiesta en un crecimiento pobre del sistema radicular y tallos endebles. Este forraje responde positivamente a la aplicación de potasio en el suelo. Las dosis de fertilización deben considerar el potencial de rendimiento de la variedad y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En el caso específico de la quinua los rendimientos más altos en condiciones de campo de agricultor han sido logrados con 300-120-300 kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente en suelos franco arenosos; siendo estos nutrientes administrados mediante el sistema de riego (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Los nutrientes para la quinua pueden provenir de fuentes como residuos de cultivos, compost, humus, estiércol animal y de rotación con cultivos de abonos verdes o leguminosas fijadoras de nitrógeno, para lo cual se debe asegurar una buena actividad microbiológica. A continuación, se describen algunos métodos ecológicos de fertilización en los cultivos de quinua (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016):

- Generalmente la fuente de abono orgánico más empleada es el estiércol animal. Su uso no solo provee nutrientes a la planta sino también mejora las características físicas y químicas del suelo. El estiércol fresco no debe aplicarse puesto que puede ser fuente de contaminación de gérmenes y semillas de malezas. Existen una serie de métodos para lograr un estiércol maduro o fermentado o descompuesto para su aplicación en el campo. El proceso dura aproximadamente tres a cuatro meses y debe tener la apariencia de una materia oscura. Es importante que esta fuente de nutrientes sea conservada bajo techo ya que la exposición al medio ambiente reduce su calidad y valor. Otra fuente de fertilización para las plantas es la orina animal, que cuando es fermentada (llamada «purín») constituye un abono líquido rico en nitrógeno y fósforo.
- El guano de islas es una mezcla de excrementos de aves (guanay, piquero, alcatraz o pelicano que habitan en la costa en el Perú), plumas, restos de aves muertas y huevos de las especies que habitan el litoral y que pasan un proceso de fermentación lenta, lo cual permite mantener sus componentes al estado de sales. Es uno de los abonos naturales de mejor calidad por su contenido de nutrientes, así como por la facilidad de asimilación, existiendo diferentes calidades: guano rico; guano fosfatado y guano de islas común.
- El abono foliar biol es un abono líquido que resulta de la mezcla de residuos orgánicos frescos y agua, fermentados por un proceso de descomposición con ausencia de oxígeno (proceso anaeróbico). Se recomienda analizar su valor nutritivo considerando que puede variar en función al tipo y la cantidad de ingredientes empleados en su elaboración.
- El humus –excreta– de lombriz es la versión más refinada de todos los abonos orgánicos.
- El compost es un conjunto de desechos orgánicos biodegradados que surge a través de un proceso denominado compostaje como su nombre lo indica. Su contenido nutritivo depende de la naturaleza de los desechos orgánicos que lo componen.
- Los abonos verdes generados por diferentes especies de plantas, generalmente leguminosas, pueden fijar nitrógeno del aire a través de la simbiosis con microorganismos de la raíz, las cuales son cortadas al inicio de la floración e incorporadas al suelo traduciéndose en un incremento en el nitrógeno y la materia orgánica que mejora las propiedades físicas del suelo.
- La siembra en rotación con pasturas o forrajes enriquecen el suelo y permite obtener rendimientos más altos. La alfalfa luego de ser cultivada en un campo

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

durante seis a ocho años es una de las especies propicias para el logro de este fin.

- Se puede emplear la roca fosfórica de Bayobar como abono orgánico y debe ser aplicado dos o tres meses antes de la siembra, esto permitirá que se descompongan y liberen los nutrientes para el cultivo en forma oportuna. La cantidad a aplicar va a depender de la riqueza que poseen estos abonos orgánicos, por lo que es recomendable tener un análisis de su composición.

Control fitosanitario

El control de plagas y enfermedades en general, debe efectuarse oportunamente; con el objeto de prevenir el desgaste en la calidad y rendimiento de sus productos y de disminuir riesgos económicos, los productores aplican diferentes prácticas culturales, técnicas de manejo de cultivos, control biológico y productos fitosanitarios (Etchevehere, Murchinson, Nimo, Morón, & Morón, 2015).

Enfermedades

Las principales enfermedades que afectan la producción de Quinua son (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016):

- Mildiu (*Perenospora variabilis*)
- Podredumbre marrón del tallo (*Phoma exigua* var. *foveata*)

Y las secundarias son:

- Podredumbre radicular (*Rhizoctonia solani*)
- Manchas foliares (*Ascochyta hyalospora*)
- Ojo de gallo (*Cercospora* sp)
- Mancha ojival del tallo (*Phoma* spp)
- Moho verde (*Cladosporium* sp)
- Mancha bacteriana (*Pseudomonas* spp)

A continuación, se darán a conocer las características, implicaciones y manejo de las enfermedades previamente mencionadas:

- Mildiu (*Perenospora variabilis*)

El mildiu es el patógeno más severo en la quinua. La enfermedad se presenta en las hojas, provocando la reducción del área fotosintética de la planta y afectando

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

negativamente el desarrollo y el rendimiento en los cultivos de la misma. La enfermedad provoca enanismo (infección sistémica) y defoliación prematura, reduciendo el rendimiento entre el 10 y el 30%. En ataques severos y en las fases fenológicas más críticas de la planta, la enfermedad puede provocar la pérdida total en variedades susceptibles.

El mildiu se presenta como manchas pequeñas de forma irregular que incrementan su tamaño a medida que la enfermedad se desarrolla, su coloración varía entre clorótica o amarilla, rosada, rojiza u otro dependiendo del color de la planta y se observa un micelio de color gris en el envés de las hojas. Si bien, se la encuentra más comúnmente en las hojas, se pueden observar síntomas en tallos, ramas, inflorescencia y granos.

Una forma importante de dispersión de la enfermedad se origina con la presencia de oósporos prendidos en el exterior de epispermo de las semillas cosechadas de plantas infectadas.

Control convencional

Control cultural:

- Usar semillas sanas y procedentes de semilleros oficializados donde no ha habido desarrollo de este hongo.
- Emplear semillas desinfectadas. La desinfección puede ser hecha con CTC (mezcla de *Carbendazim* + *Thiram* + *Carbofuram*); *Acronis Top* (*Fipronil* + *Thiophanatemethyl* + *Pyraclostrobin*), *Divend* (*Difeconazole*).
- Preservar el campo de cultivo en óptimas condiciones con el objeto de que las plantas sean capaces de tolerar el estrés causado por enfermedades.
- Llevar a cabo rotaciones de cultivos no hospederos del mildiu.
- Evitar el monocultivo, esto debido a que la principal fuente de inóculo son las oósporas que quedan en los residuos de cosecha.
- Realizar siembras en épocas desfavorables para las enfermedades, pero sí favorables para el cultivo de la quinua.
- Efectuar una eliminación temprana de plantas enfermas presentes en el cultivo.
- Un gran número de individuos de quinua, puede conducir a la generación de microambientes favoreciendo el aumento de la humedad y, por tanto, el crecimiento de los hongos. Para evitar esto, es recomendable mantener una densidad óptima y no muy elevada.
- Establecer el cultivo en campos con un buen sistema de drenaje.
- Eliminar las quinuas silvestres o parientes silvestres ya que son la fuente de inóculo inicial.

Control genético:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Es posible sembrar variedades resistentes a la enfermedad, en zonas con ambientes óptimos para su desarrollo donde se produce quinua de manera espontánea.

Control orgánico o ecológico:

Además de aplicar los controles cultural y genético descritos previamente se pueden emplear biofungicidas y otros productos recomendados en la producción orgánica de la quinua. A continuación, se darán a conocer algunas opciones de control sostenible para el milindu:

Desinfectar o tratar las semillas con *Trichoderma spp.* (hongo) y *Bacillus subtilis* (bacteria). Estos microorganismos competirán con los patógenos que se encuentren adheridos a la superficie de la semilla; adicionalmente, promoverán un mejor desarrollo radicular. Estos dos microorganismos pueden aplicarse también al abono orgánico durante el proceso de siembra de la planta.

El *Bacillus subtilis* prospera con facilidad en ambientes húmedos, con un rango de pH entre 5 y 8 y una temperatura de 15 a 50 °C con un óptimo de 28 a 35 °C. La antibiosis es el mecanismo por el cual combate al mildiu, actuando eficazmente como biocontrolador. Es posible también aplicar extractos de diferentes especies vegetales cuyas propiedades dificultan el crecimiento de hongos. Algunas de estas son el ajo (*Allium sativum*) y la cola de caballo (*Equisetum arvense*). El uso de estos debe llevarse a cabo de manera preventiva o al momento de la aparición de los primeros síntomas. Se debe emplear un adherente natural en base a cactáceas y es de vital importancia que este se administre sobre la totalidad de la superficie de la planta. Se puede aplicar un caldo sulfocálcico en forma preventiva 250 ml/ en bomba de mochila de 15 lt, y con efecto curativo 300 ml/en bomba de mochila de 15 lt.

- Podredumbre marrón del tallo (*Phoma exigua var foevata*)

Se presenta en forma de lesiones de color marrón oscuro, bordes de aspecto vítreo y se puede evidenciar la presencia de picnidios del hongo como puntos negros en el interior de las lesiones, las cuales se encuentran principalmente en los tallos y en la panoja. Es probable que el tallo se doble o se quiebre en las zonas donde esté infectado. Este hongo logra adentrarse en la planta a través de heridas mecánicas presentes en esta. El clima frío favorece su crecimiento.

Control

- Es importante evitar al máximo herir la planta o conferirle algún daño mecánico.
- El campo de cultivo no debe ser susceptible de encharcamiento, con el fin de evitar el exceso de humedad.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Los residuos de plantas infectadas deben ser eliminados de la zona de cultivo.
- Es preciso rehuir a la rotación del cultivo con papa, puesto que este tubérculo favorece la enfermedad de la “gangrena”.
- Se recomienda emplear Foli Guard con una dosis de 250 cc/cilindro.

- Podredumbre radicular o mal de almácigos

Es causado por un complejo de hongos de suelo, *Rhizoctonia sp.*, *Fusarium sp.* y *Pythium sp.* Esta enfermedad es particularmente importante en siembras que se encuentren bajo sistema de riego y en la costa.

Control cultural:

- Usar semillas sanas o desinfectadas.
- Evitar la humedad excesiva en el campo, eligiendo el método apropiado de siembra y riego.

Control orgánico o ecológico:

Aplicar fungicidas orgánicos en base a *Trichoderma lignorum*, o una mezcla entre *Trichoderma sp.* y *Bacillus sp.*

- Moho verde (*Cladosporium sp*)

Se encuentra asociado al mildiu, afecta el follaje desde la fase de formación de la inflorescencia hasta el estado de grano pastoso.

Para su control pueden emplearse las mismas prácticas utilizadas en el control cultural del mildiu.

- Mancha ojival del tallo (*Phoma spp*)

Se presenta en el tallo lignificado al final de ciclo del cultivo, si las condiciones son favorables para la enfermedad puede afectar las hojas, tallos e inflorescencia. La diseminación de esta enfermedad se da principalmente por la salpicadura de la lluvia. Se recomienda la eliminación del rastrojo enfermo.

- Manchas foliares (*Ascochyta hyalospora*)

Esta enfermedad puede llegar a tener un papel protagónico en zonas agroecológicas con alta humedad, afecta el follaje, sus síntomas iniciales son la aparición de manchas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

necróticas de forma más o menos circular a irregular, con centros de color crema y bordes ligeramente marrones.

La infección se transmite por la semilla. Se recomienda emplear semillas desinfectadas o de campos libres de esta enfermedad.

- Ojo de gallo (*Cersospora sp*)

Se presenta en las hojas como pequeñas lesiones de color marrón claro, aumentando de tamaño a medida que crece la infección. La enfermedad se hace mucho más evidente en periodos secos o de prolongada sequía, sin embargo, su aparición en forma severa se da luego del ataque del mildiu o cuando la planta está próxima a la madurez.

Su control puede realizarse con rotaciones adecuadas durante dos o tres años con cualquier otro cultivo que no pertenezca a la sub familia de las Chenopodioideae. Se recomienda la aplicación de Benomyl en rotación con Clorotalonil, Difenconazol o Tiabendazol.

- Mancha bacteriana (*Pseudomonas spp*)

Se presenta ocasionalmente desde la fase de grano lechoso hasta la madurez fisiológica. Los síntomas de la enfermedad son pequeñas manchas irregulares, humedecidas al comienzo, tanto en hojas como en tallos. Se recomienda evitar el empleo de semillas provenientes de plantas con esta enfermedad.

Insectos

Las plagas de insectos acarrearán serios problemas para el cultivo de quinua. Según el tipo de insecto, la época de cultivo y la incidencia, el rendimiento se reduce entre un 8 y un 40%.

Las plagas de insectos causan daños en el cultivo de quinua, y pueden reducir el rendimiento entre 8 y 40%, dependiendo del tipo de insecto, la incidencia y la época de cultivo. A continuación, se mencionan algunas de las plagas de insectos más importantes que pueden ser responsables por el deterioro severo en cultivos de quinua de diferentes regiones y que pueden afectar la productividad, disminuyendo así la utilidad.

- Complejo de polillas de la inflorescencia

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Entre las especies de insectos más significativas se encuentran la *Eurysacca melanocampta*, *Eurysacca quinoae* y *Eurysacca media* (pegador de hojas, polilla de la quinua). A estas variedades les favorecen las épocas de sequía y el verano.

Las larvas de la primera generación se alimentan de las hojas y las inflorescencias de la quinua, destruyéndola y debilitándola, y, por ende, menguando la capacidad fotosintética de la planta. La segunda generación de larvas afecta el proceso de formación, crecimiento, maduración y secado de los granos. Si se evidencia la presencia de entre 3 y 6 larvas por planta en un muestreo de 10 plantas por hectárea, se recomienda la aplicación de un eco insecticida.

- Complejo Noctuido

Esta plaga saja las plantas tiernas del cultivo en su etapa de desarrollo vegetativo, reduciendo la población de quinua. Estos insectos se alimentan de las hojas en todas las fases de desarrollo de la planta. Durante la inflorescencia pueden llegar a minar la panoja en formación, dando lugar a una menor productividad y una baja en el rendimiento.

- Insectos secundarios

A continuación, se dan a conocer algunos insectos secundarios, que pueden llegar a convertirse en plagas importantes si sus enemigos naturales son suprimidos a causa de la excesiva aplicación de insecticidas o la aparición de factores ambientales óptimos para su desarrollo:

- Picadores – chupadores y raspadores:

Macrosiphum euphorbiae y *Mysus persicae* (pulgones, áfidos y piojos de las plantas).

En condiciones de costa y lugares de la sierra con veranillos, estos pulgones cobran protagonismo puesto que pueden generar serios daños económicos al cultivo. Estos daños pueden ser directos o indirectos. La succión de la savia (daño directo), acarrea la marchitez y muerte definitiva de la quinua. La presencia del hongo negro del género *Fumagina* (daño indirecto), cubre las hojas del individuo, disminuyendo la fotosíntesis, y por tanto, el crecimiento del mismo.

El complejo de chinches (*Liorrhysus hyalinus*, *Nysius simulans*, *Dagbertus nr fasciatus* y *Dagbertus sp.*), causa problemas graves en la costa peruana por su daño directo a granos en proceso de crecimiento y llenado de fotosintatos.

Control

Con el objeto de identificar las medidas de control adecuadas, es necesario evaluar la “severidad” y la “incidencia” de la plaga. La severidad, es el número de insectos plaga por planta evaluada. La incidencia, es el número de plantas con insectos plaga sobre el total

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

de plantas evaluadas (porcentaje). Estos datos darán a conocer el nivel de deterioro del cultivo y qué tan afectado se encuentra por la plaga, para, a partir de esto determinar la necesidad de implementar medidas de control y cuál se ajusta más a las condiciones, con el fin de detener los impactos generados por la plaga. En el caso específico de la quinua, se recomienda muestrear 10 plantas por hectárea, y si el número promedio de larvas por planta supera el valor de 1, se hace necesaria la aplicación de algún método de control. Según la especie de insecto, la naturaleza de su ciclo de vida y el tipo de alimentación, se llevan a cabo los siguientes tipos de control:

- Control cultural

- El cultivo de quinua debe encontrarse en condiciones óptimas de crecimiento y desarrollo, esto implica: selección apropiada del campo, plantar variedades adaptadas a la región y clima del mismo, sembrar semillas de alta calidad, la siembra debe realizarse oportunamente, debe llevarse a cabo una excelente nutrición de la planta. Las plantas cultivadas bajo estas condiciones tendrán mayores probabilidades de desafiar la peste.
- Realizar una siembra temprana que se encuentre en el periodo de siembra óptimo con el objeto de evitar grandes poblaciones de insectos producto de la multiplicación de los mismos durante varias generaciones, que afectará las siembras tardías de quinua.
- Evaluar la población y especie que componen la plaga para determinar el grado de daño o de pérdida económica.
- Identificar y promover el desarrollo de organismos benéficos que proporcionan control biológico y son la primera barrera de defensa dentro de un programa integrado de plagas.
- Erradicar especies vegetales voluntarias o malezas hospederas de la familia *Amarantaceae* (sub familia *Amaranthoideae* y *Chenopodioideae*) para reducir el hábitat de multiplicación y supervivencia de las plagas.
- En la rotación, evitar la siembra de quinua en zonas donde se hallan realizado cultivos que fueron atacados por estas plagas.
- Seleccionar variedades resistentes a plagas.
- Ejecutar prácticas agronómicas como el riego pesado y largo.
- La implementación de trampas de luz y feromonas para control de adultos. Actualmente se cuenta con feromonas para *Helicoverpa quinoa*, *Copitarsia incommoda* y *Agrotis andina*. Las feromonas pueden ser utilizadas para el monitoreo de los insectos plaga, para el control de insectos adultos o para causar confusión en el proceso de apareamiento. Una de las ventajas del uso de feromonas es que son específicas, es decir atraen y capturan a los individuos a los cuales están dirigidas, adicionalmente, no causan daño al medio ambiente, son aceptados en la producción orgánica y actúan en forma permanente al menos por tres meses.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Control biológico

Es de vital importancia propiciar el desarrollo de controladores biológicos para reducir las poblaciones de insectos plaga.

Para *Copitarsia turbata* se consideran los siguientes controladores:

- Parasitoides de huevos: *Trichogramma sp.*
- Parasitoides de larvas: *Dolichostoma arequipaña*, *Euphorocera peruviana*, *Gonia sp.*, *Incampa sp.*, *Patelloa similis*, *Peleteria robusta*, *Prosopochaeta setosa*, *Trichophoropsis sp.*, *Winthemia sp.*, *Apanteles sp.*, *Bracon sp.*, *Glyptapanteles sp.*, *Microplitis sp.* y *Thymebatis sp.*
- Predadores de huevos y larvas: *Chrysopa sp.*, *Rhinacloa sp.*, *Paratriphleps sp.*, *Babis sp.*, *Geocoris sp.*, *Harpalus sp.*, *Harpalus turmalinus*, *Metius sp.* y *Calosoma sp.*

Para *Eurysacca quinoa* se han identificado los siguientes controladores:

- Parasitoides: *Copidosoma gelechiae*, *Dolichostoma sp.*, *Deleboea sp.*, *Mycroplitis sp.*, *Meteorus sp.*, *Phytomyptera sp.*, *Apanteles sp.* y *Earinus sp.*
- Para pulgones: Coccinelidos: *Eriopis sp.*, *Eriopis connexa* Germar e *Hippodamia convergens*.

- Sistema orgánico ecológico

Una alternativa importante es el empleo de microorganismos que puedan controlar una plaga cuando ésta sobrepasa el umbral de daño. Se los conoce como entomopatógenos, pueden ser bacterias, hongos, virus, nemátodos y protozoarios; estos penetran en el insecto plaga por ingestión y también por contacto causándoles la muerte. Existen productos en el mercado con estos agentes llamados biocidas.

Se debe efectuar el tratamiento en los primeros estadios, en los cuales los insectos presentan un mayor grado de vulnerabilidad a los biocidas o bioinsecticidas. La aplicación debe ser realizada al mediodía, puesto que el incremento de la temperatura asociado a esa hora del día, potencia la efectividad de los entomopatógenos. Se sugiere el empleo de productos biológicos a base de:

- *Beauveria bassiana*.
- *Bacillus thuringiensis*.
- *Paecilomyces fumosoroseau*.
- *Trichoderma harzianum*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Dentro de los insecticidas orgánicos obtenidos de plantas, el más conocido es el extracto acuoso de Neem (*Azadirachta indica*); otros extractos vegetales naturales con poder insecticida son la muña (*Satureja perviflora*), Piretro (*Chrysanthemum cinerariaefolium*), ñacathola (*Baccharis incarum*), umathola (*Parastrephia lucida*), molle (*Schinus molle*), ccamásayre (*Nicotiana tabacum*), y chachacomo (*Polylepis incana*).

Otros productos empleados son:

- El Espinosad es un insecticida orgánico obtenido mediante la fermentación del actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa*, una bacteria cuyo hábitat natural es el suelo. Presenta una eficiencia de control mayor al 90% en el complejo Eurysacca.
- Caldo sulfocálcico como tratamiento preventivo.

Extractos vegetales con propiedades repelentes:

- Eucalipto (*Eucalyptus sp*)
- Tarwi (*Lupinus mutabilis*)
- Muña (*Minthostachys sp*)

Extractos vegetales con propiedades insecticidas:

- Rocoto (*Capsicum pubescens*)
- Ají (*Capsicum sp*)
- Ajenjo (*Artemisia absinthium*)
- Ortiga (*Urtica sp*)

Virus

Los síntomas característicos asociados a los virus son: arrosamientos, amarillamientos, plantas atrofiadas, hojas coriáceas, acortamiento de entrenudos e incluso formación de panoja pequeña y rala. No existe información concreta acerca de los virus, sin embargo, es importante el estudio de estos en áreas donde las poblaciones de áfidos son elevadas por ser estos los vectores más significativos de este tipo de microorganismos.

Control de nematodos:

Algunos nematodos pueden disminuir la producción de quinua hasta en un 10%. Los más importantes son:

- Falso nemátodo del nudo: *Nacobbus aberrans*.
- Nemátodo de la oca: *Thecaverniculatus andinus*.

Control cultural:

- Erradicar malezas hospederas, como las mostazas silvestres (*Brassica sp* y *Brassica campestris*), *Calandrinia sp* y *Tagetes mandonii*.
- Rotar con gramíneas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Araduras profundas en meses con mucho sol para desecar los huevos.

Aves

Las aves perjudican el desarrollo de la quinua principalmente en la fase de germinación - emergencia de las plántulas y el crecimiento del grano, desde la fase de grano acuoso a grano seco. En la fase de germinación – emergencia, las aves cortan los cotiledones, reduciendo en algunas ocasiones el número de plantas. Esto se traduce en la necesidad de efectuar una segunda siembra.

En la fase de crecimiento y maduración de los granos, las aves se alimentan de los granos generando un daño directo a la plantación. El daño indirecto es causado por el hábito alimenticio y el tamaño del pájaro. Según el estado de desarrollo de la planta pueden interrumpir el llenado normal del grano, originando granos de bajo peso y si las plantas se tumban esto puede conducir a la contaminación de los granos por contacto con el suelo y roedores.

Se estima que las pérdidas generadas por aves varían entre un 12 y un 60%; dependiendo de la especie (capacidad de consumo y hábito alimenticio), número de individuos que conforman la plaga, la disponibilidad de alimentos y variabilidad en la región, cercanía del campo de cultivo a árboles o líneas eléctricas, edad del cultivo de la quinua, la variedad, época o estación del año, labores culturales en el manejo de la quinua y otros.

Para determinar el control necesario es crucial identificar las especies presentes, el tamaño de la población, la presencia de enemigos naturales, el nivel de daño de las panojas, la fonología del cultivo, etc.

Control

Se puede reducir la incidencia de las aves en el cultivo mediante las siguientes acciones:

- Sembrar variedades muy amargas o con alto contenido de saponina.
- Plantar en el periodo de siembra recomendado para quinua y cereales, de tal modo que el grado de daño sea compartido por la diversificación de oportunidades para los pájaros.
- Usar aves depredadoras o enemigos naturales como:
 - *Falconidae Phalcoboenus megalopterus* Meyen (alcamari, matamico andino, corequenque, caracara andino, carancho andino).
 - *Falco sparverius* Linn (cernícalo americano, halconcito colorado, cuyaya).
 - *Falco peregrinus* (halcón peregrino)
- Usar mallas anti pájaros de polietileno con una luz de 20 x 20 mm. Se considera como técnica de exclusión, y se debe instalar la malla en forma de cajón, para

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

evitar el ingreso de aves. Esta técnica tiene una eficiencia cercana al 99% y un incremento en la rentabilidad. Otros beneficios indirectos del uso de mallas es la reducción de daños por granizo y la reducción de la velocidad del viento.

- Técnicas de ahuyentamiento:
 - Instalar espantapájaros.
 - Cintas brillantes alrededor del campo.
 - Plásticos brillantes en las inflorescencias.
 - Cinta vibradora anti pájaro, que causa ondas sonoras por efecto del viento.
 - Aparatos de sonido y ultrasonido, con grabaciones de sonidos emitidos por aves depredadoras. Es importante identificar las aves plagas y los depredadores de la zona.

Las plantas en general muestran un ligero marchitamiento como resultado de la falta de agua, se acelera la maduración de los frutos (maduración prematura) resultando éstos de tamaño pequeño, con semillas vanas y de pobre calidad; en caso de que la sequía se acreciente, los frutos inmaduros caen al suelo.

Sacha Inchi

Condiciones de riego

La Sacha Inchi es una especie vegetal que requiere de una disponibilidad permanente de agua si se desea que el crecimiento de la planta sea continuo, especialmente al momento de la emergencia, floración, formación del fruto y trasplante. Está condicionada a los regímenes de lluvia del lugar en el que se establezca el cultivo. Como resultado de la falta de agua, esta planta exhibe una ligera marchitez, acelera la maduración de los frutos que se traduce en una obtención de un producto de menor tamaño, con semillas vanas y de mala calidad (Manco Céspedes, 2006; Baldeón Clavijo, 2012; Peña Guerra, et al., 2007; Manco Céspedes, 2008; Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], s.f.).

Tradicionalmente, esta especie se cultiva sin riego, ya que es originaria de la Amazonía peruana, donde abunda el recurso hídrico; en lugar de esto, era sembrada al inicio de las lluvias debido a que su germinación precisa un cierto nivel de humedad en el suelo (si ésta es óptima, la germinación inicia en las dos semanas posteriores a la siembra), de este modo se suplía la necesidad de un sistema de irrigación (Manco Céspedes, 2006). En Perú, la siembra directa debe realizarse entre noviembre y abril, la siembra indirecta (en vivero) entre septiembre y noviembre, y en el caso de terrenos que cuenten con un sistema de irrigación, puede instalarse en cualquier mes del año (Manco Céspedes, 2006; Baldeón Clavijo, 2012; Peña Guerra, et al., 2007; Manco Céspedes, 2008; Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], s.f.).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El riego es una práctica agrícola que consiste en aportar agua al suelo para compensar así una deficiencia climática, este se hace indispensable en cultivos de Sacha Inchi que se encuentre ubicados en zonas áridas, con bajos niveles de precipitación, en épocas de sequía y escasas de lluvias o en períodos prolongados de baja temperatura, puesto que la falta de hidratación se traduce en un crecimiento lento de la planta, y, por ende, en afectaciones económicas. Durante este lapso es necesario llevar a cabo irrigaciones complementarias controladas en intervalos de entre 15 y 20 días cuando el sembrado se encuentra en condiciones de monocultivo y en terrenos planos (Manco Céspedes, 2006; Manco Céspedes, 2008).

Se estima que para el cultivo de sachá inchi una precipitación que se encuentre entre 750 y 2.000 milímetros al año es adecuada, algunos afirman que el mejor rango se encuentra entre los 850 y los 1000 milímetros de agua al año. Se considera conveniente que este volumen de agua se distribuya de manera relativamente uniforme a lo largo de los doce meses correspondientes (Manco Céspedes, 2006; Perú biodiverso, 2009).

Es preciso mencionar que el exceso de agua puede ocasionar serios daños a la planta e incluso propiciar la proliferación de enfermedades radicales ocasionadas por hongos, principalmente el *Fusarium* sp. En zonas propensas a la aparición de éstos, se hace necesario sembrar al finalizar las lluvias con el fin de prevenir posibles ataques. Es importante, por tanto, que el terreno que será dispuesto para el cultivo de la Sacha Inchi tenga una buena nivelación y cuente con una textura adecuada que permita drenar el exceso de agua tanto en la superficie como a profundidad, evitando el encharcamiento del suelo y asegurando una mejor producción y desarrollo de la planta (Manco Céspedes, 2006; Baldeón Clavijo, 2012; Manco Céspedes, 2008).

Condiciones ambientales

El cultivo de Sacha Inchi se ve favorecido por la presencia de una alta humedad relativa y fuertes precipitaciones pluviales, que propician el desarrollo vigoroso de la planta; sin embargo, como se ha mencionado previamente, una humedad excesiva puede fomentar la proliferación de enfermedades producidas por hongos como manchas rojas, pudriciones en la raíz y oidiosis en los frutos, y, por ende, conducir al deterioro de la planta. Algunos expertos indican que a una humedad relativa del 78% y una temperatura media de 26°C, los individuos de esta especie se encuentran prácticamente libres de enfermedades (Figuerola, Z. 1992 citado en Baldeón Clavijo, 2012; Manco Céspedes, 2008).

La Sacha Inchi es una planta perenne que crece de manera silvestre o cultivada por los habitantes de la selva alta y baja, entre los 30 y los 2110 m.s.n.m según reportes de colectas realizadas en diferentes lugares del bosque. Se desarrolla muy bien a las diversas temperaturas que se encuentran en la Amazonía, especialmente en climas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

cálidos. Esta especie puede sobrevivir entre temperaturas de 10°C y 36°C, siendo un rango más óptimo para su siembra el comprendido entre 22°C y 32°C. Temperaturas superiores son desfavorables para la planta y ocasionan la caída de flores y frutos pequeños recién formados (Baldeón Clavijo, 2012; Peña Guerra, et al., 2007; Manco Céspedes, 2008).

La luz es otro factor importante en el crecimiento de esta especie, a mayor presencia de luz, mayor es la población de brotes, flores y frutos; en cambio, si la intensidad de la luz es baja, la planta necesitará de un mayor número de días para completar su ciclo vegetativo; por tanto, al prolongarse la sombra, la floración disminuye y, por ende, la producción (Manco Céspedes, 2006; Ayala Martínez, 2016).

La Sacha Inchi es un cultivo que requiere de medio a alto fotoperiodo para su fructificación por ser fenotípicamente plástica a la luz, la tasa de crecimiento relativo y la capacidad fotosintética incrementan a medida que aumenta la irradiación. En algunos estudios realizados se estima que, con la presencia de luz continua, la germinación de las semillas se ve favorecida un 19% más que si éstas son sembradas en ausencia de luz, y un 14% más si el fotoperiodo es de 12 horas (Peña Guerra, Lara Cabezas, Zárate Lázaro, Albornoz, & Marín Sanz, Protocolo de cultivo de sachainchi, 2008; Ávila, de Magalhaes, de Lima, da Silva, & Silva, 2015; Cai, 2011).

Condiciones de sustrato

La Sacha Inchi tiene un amplio margen de adaptación a diferentes tipos de suelo, los mejores para su desarrollo son aquellos que poseen textura media: suelos franco arcillosos, franco arenosos, franco arenoso arcillosos o francos. Los suelos menos apropiados en los cuales le cuesta desarrollarse son los suelos muy arcillosos o arenosos, amarillos, secarrones o pantanales. Se debe evitar sembrar en suelos que posean una pendiente muy pronunciada (es recomendable hacerlo en terrenos planos u ondulados con una pendiente entre 0 y 35%) o en terrenos con poca presencia de materia orgánica (el contenido de materia orgánica debe ser de medio a alto) (Baldeón Clavijo, 2012; Manco Céspedes, 2006; Peña Guerra, et al., 2007; INIA, s.f.).

Esta especie tolera suelos ácidos, con un PH entre 5.5 y 7.8, siendo el rango comprendido entre 5.5 y 6.5 el más óptimo para su crecimiento. Puede presentar susceptibilidad a suelos alcalinos. La pedregosidad de suelo debe ser media baja y la fertilidad media alta. (Baldeón Clavijo, 2012; Manco Céspedes, 2006; Peña Guerra, et al., 2007; INIA, s.f.).

Como se expresó previamente, ésta planta requiere de suelos ligeramente sueltos con un drenaje adecuado para su buen crecimiento y desarrollo, que eliminen el exceso de agua; para lograr esto es necesario que el suelo cuente con la textura correcta y que no sea

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

muy pesado, debido a que éstos retienen la humedad. Algunos autores indican que la Sacha Inchi prospera en suelos francos de buen drenaje, ya que estos favorecen un crecimiento profundo de las raíces y por ende, tienen un mayor acceso a los nutrientes del suelo (Baldeón Clavijo, 2012; Manco Céspedes, 2006; Peña Guerra, et al., 2007; INIA, s.f.).

A pesar de que la Sacha Inchi crece fácilmente en diferentes tipos de suelo, como todo cultivo, requiere de nutrientes para incrementar las cosechas. Es importante tomar en consideración el grado de fertilidad del suelo que será dispuesto para el cultivo, por medio de un análisis de caracterización de suelos (Perú biodiverso, 2009).

Varios de los abonos aprobados por la agricultura ecológica son (Perú biodiverso, 2009):

- Compost de estiércol y/o vegetal
- Humus de lombriz
- Gallinaza o guano de gallina, guano de vacuno, guano de ovino, guano de animales menores, guano de islas
- Bioles
- Bioestimulantes
- Extracto de algas marinas
- Roca fosfórica
- Dolomita
- Ulexita
- Sulfato de potasio y sulfato de magnesio
- Microorganismos eficientes

Algunos artículos indican que el agujero en el cual se planea sembrar la planta, debe llenarse previamente con una mezcla que contenga: 1 kilogramo de compost, 1 kilogramo de humus de lombriz o gallinaza compostada y, en suelos cuyo PH sea inferior a 5 y presenten una alta saturación de aluminio, se pueden aplicar 100 gramos de roca fosfórica a la mezcla (esto es opcional). Para completar el hoyo, se debe usar abono orgánico (perteneciente a los primeros 10 centímetros del perfil del suelo). Es importante añadir materia orgánica en la capa superior (5 cm), con el fin de inducir las condiciones de humedad óptimas para la germinación de la planta. Se sugiere también el uso de bioles y otros productos aprobados por la agricultura ecológica, que favorezcan el desarrollo de la planta (Perú biodiverso, 2009).

Para fertilizaciones complementarias se deben aplicar dosis de 0.5 kilogramos de humus de lombriz o compost por planta dos veces al año, al inicio y al final de la época de lluvias, y si el suelo es fuertemente ácido se recomienda aplicar roca fosfórica al menos una vez. Cada 90 días, es aconsejable emplear productos foliares como bioles, bioestimulantes, extracto de algas marinas, ácidos húmicos, desestresantes, entre otros, con el fin de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

incrementar las cosechas y disminuir las enfermedades y plagas. La dosis que se sugiere para la aplicación de un biol es de 2 a 3%; es decir, 0.4 a 0.6 litros de biol por cada 20 litros de agua; éste se puede aplicar cada 30 a 45 días. Luego de la aplicación de pesticidas aprobados por la agricultura ecológica, es necesario suministrar abono foliar con el fin de prevenir el estrés de la planta (Perú biodiverso, 2009).

Un segundo artículo, señala que, para brindarle alimento y nutrientes al cultivo de manera ecológica, se elabora un fertilizante con los siguientes materiales: 20 sacos de compost, 2 sacos de guano de las islas, 2 sacos de roca fosfórica y 2 sacos de Sulpomag. De ésta mezcla se aplican 600 gramos dos veces al año a cada planta. Adicionalmente, se enriquece el hoyo en el que se plantará el individuo con 2 kilos de compost, 250 gramos de roca fosfórica y 50 gramos de dolomita. Se puede aplicar una cantidad aproximada de humus de lombriz de tierra al suelo de 15 a 30 toneladas por hectárea al año (Peña Guerra, et al., 2007; INIA, s.f.).

Control fitosanitario

El cultivo de Sacha Inchi, como todos los anteriores, también es atacado por plagas y enfermedades (se denomina plaga a cualquier organismo —hongos, insectos, ácaros, virus, bacterias, fitoplasmas, etcétera— que cause daño al cultivo) que reducen el rendimiento del cultivo (Perú biodiverso, 2009).

Las enfermedades o daños en los cultivos son causados por diversos factores, que se ven favorecidos por la humedad, la temperatura y el mal manejo agronómico. Es importante recordar que una buena selección de las semillas puede evitar estos inconvenientes (Perú biodiverso, 2009).

A continuación, se darán a conocer las plagas y enfermedades principales que afectan a la Sacha Inchi y su respectivo manejo (Perú biodiverso, 2009):

Hongos

- Pudrición de las raíces

La pudrición de las raíces es causada por el hongo *Fusarium sp.*, que infecta la planta al ingresar por las heridas que se encuentren en las raíces (fusariosis); los nematodos son generalmente los responsables de dar origen a estas heridas. Este hongo afecta los tejidos internos de las raíces generando una coloración oscura en su interior (síntoma principal), impidiendo la circulación de agua y nutrientes. De este modo, la planta se marchita (síntoma secundario) y finalmente muere.

Esta plaga se ve favorecida por el mal drenaje del suelo, que acarrea altos niveles de humedad y baja aireación. Las altas temperaturas también favorecen su crecimiento.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Con el fin de prevenir la enfermedad es preciso establecer el cultivo en zonas con buen drenaje, donde no existan poblaciones de nematodos o se encuentren en cantidades muy bajas. Es importante realizar una preparación adecuada del suelo, aportando los nutrientes necesarios para el desarrollo de la Sacha Inchi, y evitando tanto encharcamientos como deficiencia de agua. También se puede aplicar en el tallo de la planta una mezcla de sulfato de cobre y cal apagada (caldo bordelés), la dosis de aplicación debe ser de 1 a 2 litros de caldo en la base de la planta en un diámetro de 50 centímetros. Las semillas pueden ser desinfectadas a su vez con esta solución, introduciéndola durante 6 horas en el caldo bordelés, minimizando las dificultades asociadas a este hongo.

El manejo de la enfermedad es muy complejo una vez que ha infectado la planta, sin embargo, un abonamiento adecuado y un buen drenaje del suelo, contribuyen a que el individuo tenga una mayor capacidad para resistir los síntomas.

- Agallas del tallo

Las agallas del tallo son generadas por el hongo *Cronartium sp.* Las agallas o tumores se forman en los tallos principales, las ramas y las nervaduras de las hojas. Las ramas y tallos afectados sucumben, dando lugar a un individuo parcialmente seco; si la infección se presenta en el tallo principal toda la planta muere.

Para controlar esta enfermedad es necesario que las agallas y tumores se detecten en sus fases más tempranas, las ramas y tallos afectados deben podarse tan pronto se evidencie la presencia de la enfermedad en estos. La agalla debe ser quemada o enterrada inmediatamente luego de ser cortada, con el propósito de disminuir la posibilidad de propagación de la enfermedad. Se debe evitar emplear material contaminado (semillas, estacas) en campos que se encuentren libres de la enfermedad.

- Manchas foliares y del fruto

Los hongos *Cercospora sp.* y *Rhizoctonia sp.*, son los principales agentes de la presencia de manchas foliares en los individuos de Sacha Inchi. Éstos se tornan importantes cuando llegan a cubrir gran parte del área foliar, disminuyendo la capacidad fotosintética de la planta.

El hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, por otro lado, es el responsable de las manchas que tienen lugar en el fruto (antracnosis), reduciendo su calidad y generando pérdidas en la producción de la semilla.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Es importante realizar periódicamente prácticas de poda y eliminación de malezas, puesto que disminuyen el exceso de humedad en el campo y, por ende, la presencia de hongos.

Nematodos

Los nematodos que afectan a las plantas son organismos microscópicos; en la Sacha Inchi, el *Meloidogyne incognita* (nematodo del nudo de la raíz), es el más destacado. Éste microorganismo habita en el suelo y se alimenta del contenido celular de las raíces de la planta perforándolas y dando lugar a heridas mediante un órgano especial llamado “estilete”, lo que origina la formación de nódulos o quistes que finalmente matan al individuo. El hongo *Fusarium sp.*, ingresa a través de las heridas de la planta y ocasiona su muerte. El *Meloidogyne incognita* provoca la reducción del vigor y producción de la planta.

Medidas de control

Actualmente, la Sacha Inchi no tiene capacidad de defenderse contra el ataque del *Meloidogyne incognita*, por lo que se debe sembrar en zonas donde no haya presencia de esta plaga, sin embargo, la adición de cantidades altas de estiércol descompuesto puede controlar la plaga hasta cierto punto. No es recomendable sembrar sachá inchi en suelos arenosos o que hayan sido cultivados previamente con café (Peña Guerra, et al., 2007).

Con el fin de reducir las poblaciones de este nematodo en el suelo, se recomienda la aplicación de materia orgánica (guano), y el uso de plantas trampa entre surcos como la *Crotalaria sp.*, y de productos biológicos que se encuentren en el mercado, como el Biostat (*Paecilomyces lilacinus*), cuya dosis aplicativa es de 200 gramos/hectárea.

Existen productos denominados “bionematicidas”, formulados a base de hongos nematófagos que parasitan los huevos y las hembras del *Meloidogyne incognita*, limitando la multiplicación de la plaga.

Insectos

La sachá inchi es también atacada por insectos que se alimentan principalmente de las hojas y los frutos de la planta, ocasionando pérdidas representativas en la producción. A continuación, se darán a conocer algunos de los diferentes insectos que atacan la Sacha Inchi según el tipo de daño que ocasionan:

- Insectos masticadores

Los grillos topo y las hormigas, generalmente atacan las plantas en la noche, partiendo los tallos. Las hormigas koky, son de gran importancia, gracias a su enorme número

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

pueden llegar a destruir en una noche el cultivo completo. Estos insectos atacan el cuello de la planta, destruyéndola total o parcialmente. Esto se puede controlar aplicando en las hojas, tallos tutores, caminos y hormigueros 30 mililitros de extracto de plantas repelente o extracto de nim o ricino por mochila de 15 litros.

Las hormigas, larvas lepidópteras (mariposas), moscas minadoras y arañitas rojas, comen hojas, frutos y tallos. Se alimentan de los bordes de las hojas y ocasionan agujeros en la cápsula del fruto, produciendo su destrucción total o parcial. Los minadores de hojas atacan la planta en periodos de sequía; el adulto de esta plaga deposita sus huevos en las hojas, las larvas se alimentan de la savia de la hoja posteriormente, dando lugar a manchas marrones (Peña Guerra, et al., 2007).

Se controla aplicando en los caminos y nidos pastas a base de ralladura de cáscara de naranja, 100 gramos de harina de maíz, 30 mililitros de extracto de nim y 100 mililitros de agua. Se deben identificar las áreas afectadas y aplicar la pasta en los caminos, de 50 a 150 gramos por nido, dependiendo del tamaño. En el control de gusanos se recomienda el uso de insecticidas orgánicos a base de barbasco, ají, etc. Para la “arañita roja”, se sugiere realizar aplicaciones de aceite agrícola a razón de 180 ml/15 L de agua. Se puede aplicar control biológico a la plaga de minadores de hoja con la “avispa de Uganda”. Los “brazaletes de plástico” han resultado ser una medida útil para el control de las hormigas de koky; éstos se arman cortando transversalmente una botella plástica de una gaseosa de 3 litros, obteniéndose una faja de 10 cm de ancho que luego se fija alrededor del tallo, incrustándolo 2 cm en el suelo (Peña Guerra, et al., 2007).

- Insectos picadores-chupadores

La picadura de hojas, tallos y ramas es ocasionada por chinches y queresas. Estos insectos succionan el líquido contenido al interior de las hojas, los tallos y las ramas, especialmente de aquellos que se encuentran en formación. Si la plaga es muy severa, la planta se seca.

Puede controlarse realizando aplicaciones de 180 mililitros de aceite agrícola en 15 litros de agua. Se debe aplicar en las hojas, los tallos y las ramas. Dependiendo del nivel de incidencia del ataque, la aplicación debe ser semanal hasta que el problema disminuya. La plaga de queresas también puede ser controlada con insecticidas orgánicos (Peña Guerra, et al., 2007).

- Babosas

Las babosas proliferan cuando el suelo tiene mal drenaje o la plantación se encuentra en un humedal. Esta plaga se alimenta de las hojas de la sachá inchi. Con el fin de controlar esta plaga, se podan las hojas de la parte baja del tallo de sachá inchi (Peña Guerra, et al., 2007)

Malezas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Las malezas son plantas que compiten con el cultivo de la sachá inchi por agua, luz y nutrientes. Para el control de las malezas se puede hacer uso de coberturas vegetales o mulch con el objeto de impedir el paso de la luz y de este modo evitar el crecimiento de éstas. Se debe realizar una poda manual ya sea con motoguadaña, azadón, machete o cultivadora. No se recomienda el uso de lampa para controlar la maleza puesto que esta herramienta puede cortar y destruir las raíces de la sachá inchi, adicionalmente favorece la erosión del suelo (Peña Guerra, et al., 2007; INIA, s.f.).

Expertos señalan que el uso de cultivos de cobertura de crecimiento rápido es un método útil para aportar nutrientes al cultivo y conservar el suelo, evitando la erosión, el crecimiento de malezas y la proliferación de plagas y enfermedades. Algunos de estos cultivos de cobertura son *Indigofera spp.*, *Arachis pintoi* y *Desmodium spp.* Por otro lado, la Sachá Inchi se encuentra asociada con cultivos como el frijol, el plátano, la yuca, los frutales, el algodón, el maíz, ciertas especies forestales, etc. (Baldeón Clavijo, 2012).

Baja absorción de agua y nutrientes se traducen en individuos más vulnerables al ataque de enfermedades radicales y nematodos (Arévalo, G. 1995 citado de Baldeón Clavijo, 2012), sin embargo, como se indicó previamente, el exceso de agua puede favorecer la proliferación de enfermedades (Figuerola, Z. 1992 citado de Baldeón Clavijo, 2012). A una humedad relativa del 78% y una temperatura media de 26°C, se evidencia una mejor resiliencia de la especie a estas perturbaciones (Baldeón Clavijo, 2012).

Bayas de Goji

Condiciones de riego

Se debe suministrar agua al licio (planta productora de Bayas de Goji) periódicamente y procurar tener un sustrato bien drenado, evitando posibles encharcamientos (Fuente de permacultura, s.f.).

El riego del licio, no debe ser excesivo, es preferible incluso quedarse corto con éste ya que si sus raíces se encuentran sumergidas por un periodo de tiempo muy prolongado la planta puede ahogarse (Ecoagricultura, s.f.).

Durante los primeros treinta días es recomendable regar las plantas diario. El riego es especialmente importante en el primer año de crecimiento, puesto que en este periodo el sistema radicular puede secarse fácilmente y la fruta es propensa a podrirse en condiciones de humedad baja o desigual (Demchak, 2016).

A pesar de que esta especie es tolerante a las sequías, el crecimiento de ésta se optimiza cuando la planta se encuentra húmeda sin estar saturada. También es preciso evitar que

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

se acumule agua en las hojas, puesto que esto podría favorecer la aparición de hongos (Trent Rhode, 2018).

Condiciones ambientales

Las bayas goji son el fruto del arbusto *Lycium barbarum* o licio. Esta planta es sumamente resistente al frío, pudiendo aguantar heladas y temperaturas de hasta -26°C; su temperatura máxima óptima llega a los 37°C (Fuente de permacultura, s.f.).

El licio se desarrolla mejor cuando se encuentra ubicado en un espacio iluminado en el que pueda recibir luz solar durante al menos, 6 horas diarias (preferiblemente 8 horas mínimas). Cuanto más largo sea el fotoperiodo al que se expone la planta a lo largo del día, mayor será la producción y el valor nutricional de las bayas, sin embargo, puede adaptarse a semisombras. Se recomienda asegurar luz las 24 horas del día, los 7 días de la semana durante la primera fase de crecimiento de la planta (Ecoagricultura, s.f.; Trent Rhode, 2018).

Condiciones de sustrato

El licio se adapta fácilmente a diferentes tipos de suelo, creciendo bien tanto en suelos alcalinos como ácidos; el rango de PH más óptimo para su crecimiento se encuentra entre 6.5 y 8.1. (Demchak, 2016).

Puede emplearse cualquier sustrato medio para su cultivo, de preferencia rico en minerales, sin embargo, el licio no tolera altos niveles de salinidad y se adapta mejor a suelos con alta fertilidad (Fuente de permacultura, s.f.).

Es de vital importancia que el suelo cuente con un buen porcentaje de materia orgánica; se puede agregar compost con el propósito de aportar sustrato orgánico al cultivo y mejorar el rendimiento del mismo; del igual modo, es necesario asegurarse de que el suelo sea suelto y bien aireado con el propósito de facilitar el drenaje del agua y evitar que su exceso provoque daños en las raíces (Ecoagricultura, s.f.).

El desarrollo más óptimo de la planta se da lugar en suelos relativamente livianos que posean buen drenaje, como margas o limos (Demchak, 2016).

Control fitosanitario

Este arbusto es bastante resistente a las afectaciones por plagas y enfermedades, sin embargo, existen algunas. A continuación, se mencionan las afectaciones más comunes en el cultivo de Bayas de Goji. Las principales plagas son: caracoles, babosas, gusanos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

de mariposas, áfidos, chupadores, aves, saltamontes de papa, escarabajo japonés, trips y ácaros; y las enfermedades más importantes incluyen la antracnosis, el tizón temprano y el mildiú polvoriento (Ecoagricultura, s.f.; Fuente de permacultura, s.f.; Demchak, 2016; The Royal Horticultural Society, 2018). Los chupadores y áfidos, pueden controlarse realizando aplicaciones de aceite agrícola en la planta (Peña Guerra, et al., 2007).

También es posible controlar la incidencia de las aves en el cultivo usando mallas antipájaros de polietileno, implementando aves depredadoras o instalando espantapájaros o cintas brillantes (Pando Gómez & Aguilar Castellanos, 2016). Las orugas, saltamontes y escarabajos pueden ser controlados mediante la implementación de hongos entomopatógenos. El género más indicado para combatir este tipo de insectos es el *Entomophaga* (Rubio & ALberto). Finalmente, para el control de ácaros, trips, caracoles y babosas, se recomienda emplear el microorganismo *Metarrizium* (Ulloa, 2017).

Amaranto

Condiciones de riego

El amaranto puede adaptarse a una amplia variedad de ambientes y tolera muy bien las sequías, la escasez e irregularidad en las lluvias; requiere de humedad únicamente al momento de la siembra hasta que comienzan a aparecer los retoños, sin embargo, un riego constante durante todo el ciclo vegetativo de la planta puede mejorar los rendimientos (Díaz, 2015).

La precipitación media anual más óptima para el amaranto oscila entre los 400 y los 1.000 mm, sin embargo, puede adaptarse a precipitaciones que se encuentren entre 300 y 2.000 mm por año (Guía del emprendedor, 2004).

Condiciones ambientales

El cultivo de amaranto se realiza en muchos países del mundo, principalmente en zonas templadas, tropicales y subtropicales gracias a su gran adaptabilidad. Crece en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3.000 m.s.n.m. (Guía del emprendedor, 2004).

El amaranto requiere de una muy buena disponibilidad de luz para su crecimiento (Díaz, 2015).

Condiciones de sustrato

Por lo general, la siembra de amaranto se lleva a cabo en terrenos planos con suelos de textura arcillosa o areno arcillosa. Puede crecer en suelos de mediana e incluso de baja calidad. Esta especie es sensible a suelos pesados puesto que estos afectan el desarrollo de las raíces y, por ende, el crecimiento de la planta. Los suelos dispuestos para la

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

siembra del amaranto deben ser ligeros y bien drenados, esta planta tiene una muy baja tolerancia a los encharcamientos (López, 2014).

Para una buena producción de amaranto es importante aplicar una cantidad abundante de abonos orgánicos al momento de preparar el terreno o durante la siembra. Se recomienda aplicar de 200 gramos de compost por cada metro lineal (3 toneladas/ha) a 50 gramos en el lugar donde se dispondrá la semilla e incorporar posteriormente materia orgánica a lo largo de todo el proceso de desarrollo de la planta de manera periódica (INDESOL, 2014).

Control fitosanitario

El amaranto suele ser muy resistente a las plagas y enfermedades. Esta especie produce enzimas que combaten a los insectos fitófagos de manera natural, y cuando es atacada, transporta sus azúcares lejos de la fuente del daño, de este modo, los insectos no se pueden alimentar de ella (Guía del emprendedor, 2004; Díaz, 2015).

A pesar de sus eficaces mecanismos de autodefensa, algunas plagas pueden afectar a esta planta; las de mayor importancia son la diabrotica (*Diabrotica sp*), el gusano soldad (*Spodoptera exigua*) y el gusano de la panoja (*Spoladea recurvalis*). Para el control de la diabrotica, se deben realizar des aplicaciones de *Bauveria bassiana* (160 g/ha) y para el control de adultos de gusanos se deben instalar de 1 a 4 trampas con la feromona específica. La rotación de cultivos también puede disminuir la probabilidad de que aparezcan estas plagas y enfermedades (SAGARPA, 2016).

Las malas hierbas también pueden representar un problema para el cultivo, éstas pueden ser controladas mecánica o manualmente. Se debe tener especial precaución con las malezas en las primeras etapas del crecimiento del amaranto, puesto que el crecimiento de éste individuo durante el primer mes es muy lento (SAGARPA, 2016).

3.4.2 Modelo piloto

En el presente capítulo del trabajo se darán a conocer las especificaciones técnicas de un invernadero de ciclo cerrado ubicado en el Oriente antioqueño propuesto a continuación con el objeto de reducir los impactos ambientales asociados al consumo humano de proteína, teniendo en cuenta las prácticas sostenibles descritas con anterioridad y la información recolectada de las condiciones de riego, condiciones ambientales, condiciones de sustrato y control fitosanitario. Con los datos obtenidos a lo largo del desarrollo del presente trabajo, se realizó finalmente un análisis de ciclo de vida de un cultivo piloto en invernadero que será comparado con el análisis de ciclo de vida de la industria cárnica, más específicamente de la etapa de generación del producto primario (ganadería).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Se seleccionó el cultivo de Sacha Inchi como cultivo piloto, debido a su aparición relativamente reciente en la agricultura colombiana que está cobrando protagonismo (lo que demuestra que su producción es viable en la región) (Cooperativa SachaColombia, s.f.), y a su elevado contenido proteico.

Es preciso mencionar que el presente trabajo no incluye los procesos posteriores a la recolección del fruto, es decir, no se toma en consideración su transformación en el producto comercial que será finalmente empleado por el consumidor como reemplazo a la carne en términos de proteínas.

○ **Dimensiones**

Se propone un invernadero multicapilla de un área de 1 hectárea y una altura de entre 5 y 7 metros para cada cultivo. 5 metros para los cultivos más bajos y de 6 a 7 metros para plantas más altas o trepadoras como la Sacha Inchi.

○ **Riego**

Se propuso elaborar un sistema de recolección de agua con el fin de suplir las necesidades hídricas de los cultivos mencionados con anterioridad a partir de la obtención de agua proveniente de la precipitación media anual que tiene lugar en el Oriente antioqueño.

A continuación, se dará a conocer la capacidad de recolección de agua para riego en un invernadero con un área de 1 hectárea según las condiciones climáticas en términos de precipitación en el Oriente Antioqueño, teniendo en cuenta los requerimientos hídricos del cultivo de Sacha Inchi descritos previamente (El mismo procedimiento se utiliza para estimar la eficiencia de recolección de agua en los demás cultivos propuestos).

La precipitación promedio anual en el Oriente Antioqueño es de 3151.6 mm/año (Departamento Administrativo de Planeación, 2016) o 3151.6 L/m²*año. La precipitación promedio anual en 1 hectárea (área total del invernadero propuesto), es de 31.516.000 L/ha*año. El máximo requerimiento de agua de la Sacha Inchi es de 2.000 L/m²*año (Manco Céspedes, 2006; Perú biodiverso, 2009), que para suplir las necesidades de una plantación de esta especie en 1 hectárea es de 20.000.000 L/ha*año. El valor de precipitación promedio anual en un área de 1 hectárea en el Oriente Antioqueño, supera las necesidades hídricas de la Sacha Inchi. Se consideró prudente almacenar el 50% del requerimiento hídrico máximo (10.000.000 L/ha*año) como reserva para posibles épocas de escasas de lluvias y sequías, es decir una recolección total de 30.000.000 L/ha*año.

Para el caso específico de la Sacha Inchi, se empleará un sistema de riego por aspersión, mediante el cual el agua llega a la planta en forma de "lluvia localizada". Es preciso mencionar que los biofertilizantes líquidos serán distribuidos de la misma manera, en conjunto con el agua.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

○ **Energía**

Se propuso la implementación de un biodigestor al interior del invernadero que empleará los sustratos orgánicos provenientes de los cultivos previamente descritos y producirá la energía necesaria para: mantener una temperatura adecuada al interior del invernadero durante la noche según lo requieran las condiciones y poner en marcha el sistema de riego y la generación de la luz requerida por la planta según su fotoperiodo.

El volumen y la composición del biogás producido por el proceso de biodigestión varían según el material empleado. Los residuos de materia orgánica generada por un cultivo vegetal, generalmente tienen una producción de biogás de 240 m³/tMF (tonelada de materia fermentable), lo que equivale a una producción de energía térmica de 1.440 kWh/tMF y a una producción de energía eléctrica de 570 kWh/tMF (Olaya Arboleda & González Salcedo, 2009).

Una vez se ha generado biogás, se estima que alrededor del 50% de la materia orgánica ingresada en el biodigestor se convierte en un lodo, del cual aproximadamente el 6% es sólido y el resto es líquido. Luego de separar ambos estados, el líquido será empleado como biofertilizante y se mezclará con el agua de riego; y el sólido restante será utilizado para la producción de compost (Cadavid, 2018)

Cabe resaltar que el sustrato orgánico proveniente del cultivo de Sacha Inchi se origina básicamente en la poda y en la pérdida natural de hojas y tallos de la planta, sin embargo, este volumen de materia orgánica se considera muy pequeño para abastecer al biodigestor. Por tal motivo, se hace necesario que el sustrato orgánico que sirve como materia prima en la generación de energía por medio del biodigestor, sea extraído de los residuos orgánicos de los otros cultivos seleccionados, e incluso, en caso de no ser suficiente, se puede usar la materia orgánica sobrante de cultivos vecinos de flores, hortalizas o verduras, los cuales abundan en el Oriente antioqueño.

○ **Sustrato**

Se propone la elaboración de un sistema de compost con el propósito de emplear el sustrato seco obtenido a partir del proceso de biodigestión como materia prima para el abono de los cultivos seleccionados. Alrededor del 6% del volumen de materia orgánica ingresada en el biodigestor es sólida, y puede ser empleada como materia prima en el compost. Es preciso señalar, que debido a que este sustrato está conformado principalmente por nitrógeno, se debe ajustar la relación C/N entre 25:1 y 40:1 (es decir entre 25 y 40 parte de carbono por 1 de nitrógeno), con sustratos adicionales (Agromática, s.f.).

Se añadirá al suelo la cantidad agregada de abono (que no provenga de la biodigestión) necesaria para el buen crecimiento del cultivo. Ésta cantidad adicional debe tener en

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

cuenta los requerimientos nutricionales de la planta (en este caso la Sacha Inchi), señalados con anterioridad. El volumen de este sustrato adicional será estimado al momento de iniciar la operación del cultivo y no en la fase de modelación, teniendo en cuentas la tasa y etapa de crecimiento de la planta.

El proceso de compostaje también producirá CO₂, que favorecerá el crecimiento de la plantación por medio de la fertilización carbónica de la Sacha Inchi. Según un estudio la tasa de generación de CO₂ en un proceso de compostaje por kg de residuo es de 0.0078 kg de CO₂ (INCLAMCO₂, 2013).

- **Ventilación**

El invernadero estará recubierto con el propósito de que la generación de CO₂ proveniente del proceso de compostaje y de los procesos de descomposición presentes al interior del mismo, pueda ser empleada como recurso de fertilización carbónica para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, se proponen sistemas de ventilación cenital ubicados en la parte superior de las capillas que conforman la totalidad del invernadero, con el objeto de no incrementar en exceso la temperatura al interior potenciada por el efecto invernadero del gas.

- **Biopesticidas**

Los biopesticidas se emplearán según el tipo de enfermedades que hagan aparición en el cultivo en medio de su operación. Se hará uso de aquellos que se especifican en el capítulo anterior para cada cultivo según el tipo de afectación que se presente, seleccionando aquellos que representen un menor costo y una mayor eficiencia.

Del mismo modo, se sugiere realizar las actividades preventivas estipuladas en el capítulo anterior, con el fin de evitar la aparición de plagas y de reducir el uso de biopesticidas, y por tanto sus costos asociados.

A continuación, se darán a conocer gráficas del prototipo, realizadas en el programa Revit:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 33. Invernadero de ciclo cerrado con sistemas de recolección de agua lluvia, biodigestor y compostaje.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 34. Invernadero de ciclo cerrado con cultivo de Sacha Inchi. Vista lateral.



Figura 35. Invernadero de ciclo cerrado con sistema de recolección de agua lluvia.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 36. Invernadero de ciclo cerrado. Vista frontal.

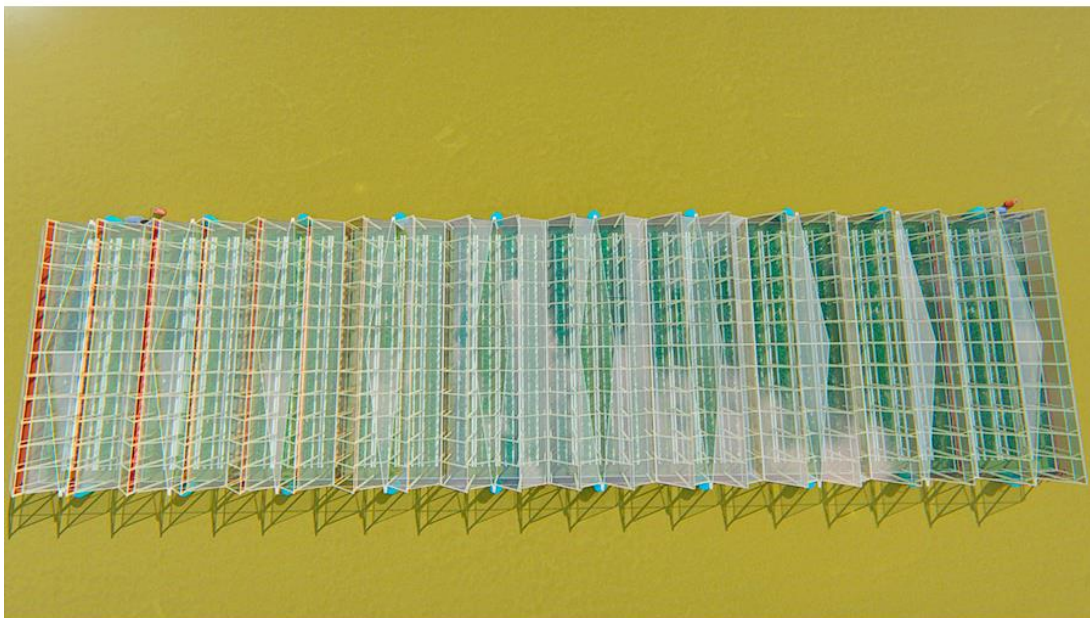


Figura 37. Invernadero de ciclo cerrado. Vista superior.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 38. Invernadero de ciclo cerrado. Controlador de aves (espantapájaros).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.5 COMPARACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Se hizo uso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta para identificar los diferentes impactos ambientales generados por la producción de proteínas de origen animal (específicamente de bovinos) y por la producción de proteínas de origen vegetal provenientes del invernadero de ciclo cerrado previamente propuesto.

Debido a que en el ACV del invernadero de ciclo cerrado, únicamente se consideraron los impactos generados hasta la recolección del fruto y no se tomaron en cuenta los procesos de transformación del producto posteriores a dicha etapa; el ACV de la producción de carne será realizado únicamente para la etapa de ganadería, que se juzgó como el equivalente de la etapa de producción del fruto en el ACV del invernadero, por tratarse ambos de la materia prima que será luego procesada y transformada para finalmente ser ofrecida a los consumidores.

3.5.1 Unidad funcional

Puesto que el objeto último es comparar ambos ACV y contrastar los impactos ambientales asociados a cada uno, se hace evidente la necesidad de emplear una unidad funcional, definida como el aspecto común entre los dos sistemas de producción de proteína. Se concretó que la Unidad Funcional más adecuada era el consumo mínimo diario de proteína requerido por una persona adulta.

La cantidad diaria recomendada de proteína es de 0.8 gramos de proteína por kilogramo de peso corporal (Harvard Health Publishing, 2015).

El peso de una persona adulta promedio es de 62 kilogramos, por ende, su consumo mínimo diario de proteína requerido es de 49.6 gramos (Universia, 2012).

Un kilogramo de carne de res posee 260 gramos de proteína (USDA, 2018), por otro lado, un kilogramo de Sacha Inchi contiene 289.2 gramos de proteína (Ayala Martínez, 2016).

Para suplir sus necesidades proteicas, un individuo de 62 kilogramos debe consumir 190.7 gramos de carne de res o 171.5 gramos de Sacha Inchi, en base a estos últimos dos valores se realizará el análisis de inventario y la determinación de los impactos.

3.5.2 Análisis de inventario

○ Huella hídrica

Ganadería

Un solo novillo consume 24.1 litros de agua por día. En Colombia, los novillos se sacrifican a los 2 años de vida; en este punto, el animal pesa alrededor de 450

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

kilogramos. Multiplicando el consumo de agua diario del ganado por el tiempo que tarda en crecer lo suficiente para el sacrificio, se obtiene que el animal consume un total de 17.593 litros de agua. Finalmente, dividiendo éste valor por el peso del animal, se obtiene que, por cada kilogramo de carne de ganado vacuno antes de ser sacrificado, se consumen 39.8 litros de agua (CONtexto ganadero, 2015).

Adicional a este consumo directo de agua, se estima que la totalidad de la huella hídrica para la producción de un kilo de carne de ganado vacuno es de 15.400 litros, siendo el 94% de este valor la cantidad de agua utilizada para la producción de forraje con el cual se alimenta el animal, cuya cifra es 14.476 litros por kilogramo de carne (Agrelo, s.f.).

Para estimar el consumo total de agua empleado únicamente en la fase ganadera (ya que los procesos posteriores no serán incluidos en el presente análisis) a esta etapa; se sumó el valor de consumo de agua directo del animal (39.8 litros), con el consumo hídrico asociado a la producción de forraje para la alimentación del animal (14.476 litros), dando como resultado un consumo total de 14.516 litros por kilogramo de carne de res producido antes del sacrificio.

Cultivo de sachá inchi

El requerimiento hídrico de la Sacha Inchi es de 20.000.000 L/ha al año, éste valor dividido por el rendimiento de esta planta que es 2.000 kilo/ha en un año, da como resultado la cantidad de agua requerida para producir un kilogramo de Sacha Inchi que es de 10.000 L (Antioquia Datos, 2016).

○ **Extensión de tierra**

Ganadería

La extensión de tierra necesaria para un solo individuo de ganado vacuno es de 5.555 m². Si su peso es de 450 kilogramos a los dos años, el área necesaria para producir 1 kilo es 12.34 metros cuadrados en dos años, por tanto, para producir 1 kilo de carne de res en un año se requiere el doble del área, es decir 24.68 m² (CONtecto ganadero, 2015).

Cultivo de sachá inchi

El rendimiento de la Sacha Inchi es de 2.000 kg/ha al año; el rendimiento por metro cuadrado es por tanto de 0.2 kg de Sacha Inchi al año. Empleando dichos valores se obtiene que se requiere un total de 5 m² para producir un kilogramo de Sacha Inchi al año (Perú biodiverso, 2009).

○ **Energía**

Se estimó que la energía necesaria tanto para la ganadería como para el cultivo de Sacha Inchi eran valores muy pequeños y se despreciaron.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

○ **Emisiones**

Las emisiones de efecto invernadero generadas por la ganadería y por la Sacha Inchi no fueron tenidas en cuenta al momento de realizar el análisis de ciclo de vida, puesto que tanto las emisiones de ganado vacuno como las generadas por la descomposición de la planta de Sacha Inchi no se consideraron como emisiones de carácter antropogénico.

A continuación, en la Tabla 4 se evidencian los resultados obtenidos en la elaboración del Análisis de Ciclo de Vida:

Tabla 4. Resultados análisis de Ciclo de Vida.

ASPECTO	CARNE	SACHA INCHI
Contenido proteico	260 gr proteína/kg carne	289 gr proteína/kg sachá
Requerimiento diario proteico persona adulta peso promedio 62 kg	49,6 gr	49,6 gr
Requerimiento equivalente diario producto	0,1907 kg	0,1715 kg
Huella hídrica	14516 litros agua/kg	10000 litros agua/kg
Huella hídrica relativa al requerimiento diario producto	2758 litros agua	1700 litros agua
Uso de tierra	24,68 m ² /kg	5 m ² /kg
Uso de tierra relativa al requerimiento diario de producto	4,7 m ² terreno	0,85 m ² terreno

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Buscando cumplir con el objetivo de diseñar un cultivo vegetal con alto contenido proteico en un invernadero de ciclo cerrado como alternativa al consumo de carne bajo las condiciones ambientales del Oriente Antioqueño, el presente trabajo se dividió en cinco fases, cada una de las cuales contribuyó con el cumplimiento de dicho objetivo y dio lugar a diferentes conclusiones, éstas serán mencionadas a continuación:

En la primera fase, luego de evaluar ocho estudios realizados en todo el mundo de los impactos ambientales generados por la producción de carne de ganado vacuno, se concluyó que la producción de carne de res posee múltiples impactos ambientales, entre los cuales se encuentran el consumo energético, el consumo de agua, el uso de tierra, la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación de suelos y cuerpos de agua por acidificación y eutrofización. Los estudios analizados emplearon como unidad funcional 1 kilogramo de carne de res producida, lo que permitió contrastar y agrupar las cifras y determinar los rangos entre los que oscilan los datos. Dichos valores varían según el tipo de sistema de producción empleado, y entre un estudio y otro debido a las diferentes variables que influyen en cada uno.

En la segunda fase, a partir de la elaboración de una tabla de priorización se pudo concluir que, de las 14 especies vegetales analizadas, las cinco especies más aptas para el cumplimiento del objetivo del trabajo y que obtuvieron mayores puntajes en las variables evaluadas en la tabla de priorización fueron la Alfalfa, la Quinua, la Sacha Inchi, las Bayas de Goji y la Maca.

En la tercera fase, se concluyó que las prácticas sostenibles seleccionadas en la misma, disminuían los impactos ambientales negativos generados por la agricultura a través del uso de insumos menos invasivos; de la reutilización de desechos para la producción de materias primas y energía que reducen el consumo de recursos y la contaminación; de un aprovechamiento más eficiente y un mejor uso del potencial productivo de un material. Por otro lado, se concluyó que ninguna de dichas prácticas es mutuamente excluyente y por tanto pueden ser llevadas a cabo conjuntamente en el invernadero e integradas entre sí con el objeto de conformar el sistema de la manera más eficaz posible.

En la cuarta fase, se realizó una revisión bibliográfica de los parámetros técnicos necesarios para la construcción y operación del invernadero y se realizó un modelo piloto del proyecto. Se seleccionó a la Sacha Inchi como cultivo piloto, y el modelo se realizó teniendo en cuenta únicamente la etapa de producción del fruto de Sacha Inchi. Se indicó que el área del invernadero sería de una hectárea, para simplificar los cálculos.

Con base en esto y a la revisión bibliográfica llevada a cabo con anterioridad, se concluyó que:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- La cantidad de agua que se almacenaría para abastecer el sistema de riego del cultivo piloto de Sacha Inchi sería de 30.000.000 litros de agua al año.
- La precipitación promedio anual en el Oriente Antioqueño permite recolectar alrededor de 724.520.000 litros de agua al año por hectárea, siendo éste valor el máximo que se puede recolectar para satisfacer las necesidades de consumo hídrico para cada uno de los cuatro cultivos restantes.
- El proceso empleado para obtener el valor del agua que debe almacenarse para suplir las necesidades hídricas de los otros cuatro cultivos es el mismo proceso que fue empleado para identificar dicho valor en el cultivo de Sacha Inchi.
- Los residuos de materia orgánica generada por un cultivo vegetal generalmente tienen una producción de biogás de 240 m³/tMF (tonelada de materia fermentable), lo que equivale a una producción de energía térmica de 1.440 kWh/tMF y a una producción de energía eléctrica de 570 kWh/tMF (Olaya Arboleda & González Salcedo, 2009).
- Una vez se ha generado biogás, se estima que alrededor del 50% de la materia orgánica ingresada en el biodigestor se convierte en un lodo, del cual aproximadamente el 6% es sólido y el resto es líquido.
- La relación carbono nitrógeno en el compostaje debe ser entre 25:1 y 40:1 (es decir entre 25 y 40 partes de carbono por 1 de nitrógeno) (Agromática, s.f.)
- La tasa de generación de CO₂ en un proceso de compostaje por kg de residuo es de 0.0078 kg de CO₂ (INCLAMCO₂, 2013).

Finalmente, en la última fase se dan a conocer los resultados obtenidos luego de llevar a cabo un análisis de ciclo de vida tanto de la ganadería bovina como del cultivo en invernadero de la Sacha Inchi (cultivo piloto) de los impactos ambientales asociados a ambas prácticas y evidenciados en la tabla 4 (remitirse a la Tabla 4). Estos resultados permiten concluir lo siguiente:

- El contenido proteico de la Sacha Inchi supera al contenido proteico de la carne de ganado vacuno en un 10%, contiene 29 gramos de proteína por kilogramo más que la carne.
- Un ser humano debe consumir 10% más cantidad de carne de ganado vacuno que de Sacha Inchi si desea ingerir la misma cantidad de proteína alimentándose de carne de ganado vacuno que la que ingiere un individuo que consuma Sacha Inchi.
- Un ser humano adulto de 62 kilogramos debe consumir 0.1907 kg de carne de ganado vacuno o 0.1715 kg de Sacha Inchi si desea suplir sus necesidades

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

proteicas diarias, es decir, si consume carne de ganado vacuno debe ingerir 0.0192 kg adicionales de esta.

- La huella hídrica relativa al requerimiento diario de consumo de proteína de un adulto de 62 kilogramos causada por la ingesta de carne de ganado vacuno es 38.4 % mayor que la huella hídrica generada por el consumo de Sacha Inchi de un individuo con las mismas características. Se demandan 1.058 litros de agua adicionales para producir la cantidad de carne necesaria para suplir el requerimiento proteico de dicho individuo en contraste con la demanda en litros de agua para la producción de la Sacha Inchi para suplir el mismo requerimiento.
- El uso de tierra relacionada con requerimiento diario de consumo de proteína de un adulto de 62 kilogramos causada por la ingesta de carne de ganado vacuno es 82% mayor que el uso de tierra generado por el consumo de Sacha Inchi de un individuo con las mismas características. Se demandan 3.85 m² de tierra adicionales para producir la cantidad de carne necesaria para suplir el requerimiento proteico de dicho individuo en contraste con la demanda en metros cuadrado de tierra para la producción de la Sacha Inchi para suplir el mismo requerimiento. La necesidad de usar un área mayor de suelo para la producción de carne, tiene serias implicaciones ambientales, asociadas a una mayor tasa de deforestación, pérdida de biodiversidad y cambios en el suelo.
- La energía necesaria tanto para la ganadería como para el cultivo de Sacha Inchi eran valores muy pequeños y por tanto no representaron un impacto ambiental significativo.
- La producción de Sacha Inchi genera impactos ambientales menores que la ganadería bovina.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio más detallado de los impactos ambientales asociados a la producción de carne en Colombia, puesto que la mayoría de la información proviene de fuentes externas al país, limitando una evaluación más certera de las posibles soluciones a dichos impactos.
- Para brindar opciones vegetales que suplan algunas de las necesidades nutricionales que normalmente suple la carne de ganado vacuno, se recomienda seleccionar las variedades vegetales que posean un contenido proteico mayor, igual o cercano a los 260 gramos de proteína por kilogramo de producto vegetal, puesto que éste es el contenido de proteína promedio de la carne de ganado vacuno. Se recomienda también seleccionar las especies que posean mayores rendimientos, puesto que esto representa una mayor disponibilidad proteica en un menor tiempo. Adicionalmente, se recomienda que las especies vegetales a

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

cultivar sean alternativas a la producción local de vegetales con características similares, puesto que esto favorece la diversificación del mercado, incrementa la cantidad de opciones de consumo y reduce la competencia. Por último, es de vital importancia que el cultivo se adapte a las condiciones ambientales del lugar, en este caso, del Oriente Antioqueño, en donde las temperaturas fluctúan entre los 13°C y los 22°C; en casos extremos puede bajar a menos de 11°C y subir a más de 24°C y se encuentra a una altitud media de 2080 m.s.n.m., además de contar con una precipitación media anual de 3151.6 mm.

- Para disminuir los impactos ambientales asociados a la agricultura se recomienda implementar el concepto de ciclo cerrado. Algunas prácticas sostenibles compatibles con dicho concepto son: biodigestión, compostaje, biopesticidas, cosecha de agua dulce y fertilización carbónica. Adicionalmente, se recomienda que los cultivos se lleven a cabo en invernaderos, los cuales facilitan el control de los impactos ambientales generados por dicha industria.
- En caso de que el cultivo no tenga la capacidad de generar suficiente materia orgánica sobrante para el funcionamiento de los sistemas de biodigestión y compostaje, se sugiere extraer residuos orgánicos de los otros cultivos seleccionados, e incluso, en caso de no ser suficiente, se puede usar la materia orgánica sobrante de cultivos vecinos de flores, hortalizas o verduras, los cuales (en este caso) abundan en el Oriente antioqueño.
- Se recomienda que los biopesticidas se empleen según el tipo de enfermedades que hagan aparición en el cultivo en medio de su operación. Se debe hacer uso de aquellos que se especifican para cada cultivo según el tipo de afectación que se presente, seleccionando aquellos que impliquen un menor costo y una mayor eficiencia.

REFERENCIAS

- Agricultureros. (13 de septiembre de 2017). *Rendimiento por hectárea de los cultivos*.
Obtenido de <http://agricultureros.com/rendimiento-por-hectarea-de-los-cultivos/>
- Agromática. (s.f.). *Rendimiento y producción de los principales cultivos en España*.
Obtenido de <https://www.agromatica.es/rendimiento-por-hectarea-de-los-cultivos/>
- American Pistachio Growers. (s.f.). Obtenido de <http://www.americanpistachios.es/>
- Anaya Camacho, M. (2004). *Manual del participante: Cultivo de alfalfa con riego por goteo sub-superficial*.
- Agromática. (s.f.). *Relación Carbono-Nitrógeno en el compost*. Obtenido de
<https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/>
- Agrelo, M. (s.f.). *Huella hídrica asociada a la alimentación (I): carne*. Obtenido de
<https://www.eco-huella.com/2014/05/huella-hidrica-asociada-la-alimentacion.html>
- Agromática. (s.f.). *Relación Carbono-Nitrógeno en el compost*. Obtenido de
<https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/>
- Antioquia Datos. (2016). *Estadísticas Antioquia*. Obtenido de
<http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/2-2-4-precipitacion-promedio-anual-por-subregiones-y-municipios-ano-2016>
- Ávila, A., de Magalhaes, A., de Lima, E. E., da Silva, C. J., & Silva, H. (2015).
Environmental factors on seed germination, seedling survival and initial growth of
sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Seed Science*, 111-116.
- Animals Australia. (s.f.). Obtenido de <https://www.animalsaustralia.org/>
- Antón, A., Aranda, X., Biel, C., de Herralde, F., Montero, J., Montero, J. I., . . . Savé, R.
(2011). *Manual del aplicador de CO2 en cultivos hortícolas*. IRTA.
- Artaraz, M. (2002). *Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible* . Ecosistemas.
Revista de ecología y medioambiente.
- Argüelles Mendoza, G., & Alarcón Millán, E. (s.f.). *Principales pastos de corte en Colombia*. ICA.
- Arrieta, I., & Romero, C. (2008). *ALFALFA*. Obtenido de
<http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/Seminarios%202008/Alfalfa.pdf>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Ayala Martínez, G. A. (2016). *Análisis de crecimiento y producción de 3 variedades de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.), en el municipio de Tena Cundinamarca*. Bogotá D.C.: Universidad de ciencias aplicadas y ambientales U.D.C.A.
- Balcells, M. F., Núñez de Kairuz, M., & Nader-Macías, M. E. (2013). Composición química, valoración nutricional, satisfacción y aceptabilidad de bayas de goji (*Lycium barbarum* L.) y productos elaborados.
- Bártoli, J. A. (2008). *Manual para el cultivo de piñón (Jatropha curcas) en Honduras*. La Lima: Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).
- Becerra, R. (2000). *El amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo*. Obtenido de <https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv30art1.pdf>
- Berries for africa. (s.f.). *Goji Berries*. Obtenido de <http://berriesforafrica.co.za/our-berry-plants/goji-berries>
- Bio Trendes. (s.f.). *Berro*. Obtenido de <https://biotrendies.com/verduras/berro>
- Bravo, M. (2017). *Kañiwa. El grano del presente y futuro*. Obtenido de <http://confirmado.com.ve/kaniwa-el-grano-del-presente-y-futuro/>
- Beauchemin, K., Janzen, H. H., Little, S. M., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, 371-379.
- Baldeón Clavijo, D. J. (2012). *Utilización de Plukenetia volubilis (sachá inchi) para mejorar los componentes nutricionales de la hamburguesa*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cai, Z. Q. (2011). Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants. *Industrial Crops and Products*, 1235-1237.
- Clavijo Villamizar, E., & Cadena Castro, P. C. (2011). *Producción de calidad nutricional de la alfalfa (Medicago sativa) sembrada en dos ambientes diferentes y cosechada en distintos estadios fenológicos*. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle.
- Cooperativa SachaColombia. (s.f.). Obtenido de <http://sachacolombia.com/cooperativa/>
- CONtexto ganadero. (31 de julio de 2015). *Número de vacas por hectárea se duplica en fincas tecnificadas*. Obtenido de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/numero-de-vacas-por-hectarea-se-duplica-en-fincas-tecnificadas>
- CONtexto ganadero. (30 de septiembre de 2015). *Novillos de 24 meses se sacrifican con 450 kilos de peso en Colombia*. Obtenido de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/novillos-de-24-meses-se-sacrifican-con-450-kilos-de-peso-en-colombia>

Cadavid, C. F. (n.d.). Herramientas de Gestión Ambiental. *Generalidades Analisis de Ciclo de Vida (ACV)*.

Centro de Acopio y Transformación de Cultivos Andinos [CEAT]. (s.f.). *Ficha técnica - cañihua*. Obtenido de <http://www.ceat.pe/images/fichas/canihua.pdf>

CODEBIO. (s.f.). *Amaranto orgánico en grano*. Obtenido de <http://www.codebio.es/wp-content/uploads/2014/10/CDB.Amaranto-grano.pdf>

Council, N. R. (1989). *Lost Crops of the Incas*. Washington: National Academy Press Washington.

Carrero, S., Díez, F., Guillén, J., Gutiérrez, N., & Jiménez, J. A. (2009). *Integración energética en invernaderos*. IOE.

Corona Zúñiga, I. (2007). *Biodigestores*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-de-desarrollo/paginas/que-es-el-plan-nacional-de-desarrollo.aspx>

Deporte y vida. (s.f.). *La moringa, el superalimento del que no habías oído hablar*. Obtenido de https://as.com/deporteyvida/2017/07/04/portada/1499171210_097496.html

Díaz, S. (18 de abril de 2015). *Amaranto, ¿Cómo cultivarlo? Siembra, cuidados y recolección*. Obtenido de <https://www.agrohuerto.com/amaranto-como-cultivarlo/>

DANE. (2012, Diciembre). Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_octubre_2012.pdf

DANE. (2016, Marzo). *Ganadería bovina para la producción de carne en Colombia, bajo las Buenas Prácticas Ganaderas (BPG)*. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_feb_2016.pdf

DANE. (2018, Octubre 28). *Encuesta de sacrificio de ganado*. Retrieved from <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-de-sacrificio-de-ganado>

de Vries, M., & de Boer, I. (2009). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock science*, 1-11.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Dick, M., Abreu da Silva, M., & Dewes, H. (2014). Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. *Journal of Clean Production*, 426-434.
- Demchak, K. (26 de octubre de 2016). *Goji Berry Culture*. Obtenido de <https://extension.psu.edu/goji-berry-culture>
- Departamento Administrativo de Planeación. (2016). *Anuario Estadístico de Antioquia 2016*. Obtenido de <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/2-2-4-precipitacion-promedio-anual-por-subregiones-y-municipios-ano-2016>
- Díaz, S. (18 de abril de 2015). *Amaranto, ¿Cómo cultivarlo? Siembra, cuidados, recolección*. Obtenido de <https://www.agrohuerto.com/amaranto-como-cultivarlo/>
- Ecoagricultura. (s.f.). *Cultiva tus propias bayas Goji*. Obtenido de <https://www.ecoagricultor.com/cultivar-bayas-goji/>
- EcoInteligencia. (2009). *El análisis del ciclo de vida*. Obtenido de <https://www.ecointeligencia.com/2013/02/analisis-ciclo-vida-acv/>
- Etchevehere, L. M., Murchinson, A., Nimo, M., Morón, P., & Morón, J. (2015). *Manual de buenas prácticas agrícolas (BPA) para quinua*. Secretaría de Agroindustria.
- Encuesta Nacional Agropecuaria. (2017, agosto 4). *Inventario de ganado vacuno*. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/enda/ena/2016/boletin_ena_2016.pdf
- Espinal, C. F., Martínez, H., & Acevedo, X. (2005, Marzo). *La cadena de la carne bovina en Colombia*. Retrieved from http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6320/2/2005112144930_caracterizacion_bovina.pdf
- ecoagricultor. (s.f.). *Cultiva tus propias bayas Goji*. Obtenido de <https://www.ecoagricultor.com/cultivar-bayas-goji/>
- ecohortum. (20 de marzo de 2013). *CÓMO CULTIVAR ALFALFA*. Obtenido de <http://ecohortum.com/como-cultivar-alfalfa/>
- El Huerto de Urbano. (18 de julio de 2011). *Como cultivar berros*. Obtenido de <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/berros/>
- EcoInvento. (27 de julio de 2018). *Guía técnica para cosechar el agua de lluvia*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/guia-tecnica-para-cosechar-el-agua-de-lluvia/>
- Fernández, C., & Juncosa, R. (2002). Biopesticidas: ¿la agricultura del futuro? *FuturEco*, 14-19.

- Federación Española de la Nutrición. (s.f.). *Piñon*. Obtenido de <http://www.fen.org.es/index.php/alimentacion/alimento/pinon>
- Federación Española de la Nutrición. (s.f.). *Pistacho*. Obtenido de <http://www.fen.org.es/index.php/alimentacion/alimento/pistacho>
- FEN. (s.f.). *Berros*. Obtenido de <http://www.fen.org.es/index.php/alimentacion/alimento/berro>
- FEN. (s.f.). *Canónigos*. Obtenido de <http://www.fen.org.es/index.php/firma/hierbas-de-los-canonigos>
- Finkeros. (29 de junio de 2015). *Moringa: cultivo y aprovechamiento*. Obtenido de <http://abc.finkeros.com/moringa-cultivo-y-aprovechamiento/>
- Frutos del país Melendez. (2015). *Amaranto*. Obtenido de <http://frutosdelpaismelendez.cl/producto/amaranto/>
- Fundación Española de la Nutrición [FEN]. (s.f.). *Acachofa*. Obtenido de <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/alcachofa.pdf>
- FAO. (2018). *Producción animal*. Retrieved from <http://www.fao.org/animal-production/es/>
- Fuente de permacultura. (s.f.). Obtenido de <https://fuentedepermacultura.org/fichas-de-especies-vegetales/lycium-barbarum/>
- García González, J. J. (s.f.). *El cultivo de la alfalfa en zonas húmedas*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Guía del emprendedor. (2004). *Cultivo de Amaranto*. Obtenido de <http://www.guiadelemprendedor.com.ar/Amaranto.htm>
- Guía del emprendedor. (2004). *Cultivo de Amaranto*. Obtenido de <http://www.guiadelemprendedor.com.ar/Amaranto.htm>
- Gallo, D., Manuzza, M., Echegaray, N., Montero, J., Munner, M., Rovirosa, A., . . . Murray, R. S. (s.f.). *Alimentación vegetariana*. Obtenido de http://www.sanutricion.org.ar/files/upload/files/Alimentacion_Vegetariana_Revision_final.pdf
- Gastronomía & Cía. (2008). *Canónigos*. Obtenido de <https://gastronomiaycia.republica.com/2008/07/30/canonigos/>
- Gélvez, L. (2018). *Composición nutricional del Alfalfa (harina)*. Obtenido de http://mundo-pecuario.com/tema133/leguminosas_para_animales/alfalfa_harina-630.html
- Gosálbez, C. (17 de septiembre de 2012). *Cultivo de la alcachofa*. Obtenido de https://www.planetahuerto.es/revista/cultivo-de-la-alcachofa_00186

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Guijarro Loaiza, D. A. (2011). *Proyecto de factibilidad para la producción y exportación de raíz de maca en el mercado chino*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, Sumak Kawsay, JICA. (2015). *Guía Técnica para cosechar el agua del luvia*. Ecuador: Ministerio del Ambiente, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Ministerio de Salud Pública, Ministerio de Educación.
- Gómez Gutiérrez, C. (s.f.). *El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación*.
- Gon, L. M. (2008). *Guía para proyectos de biodigestión en establecimientos agropecuarios*. Universidad Católica de Santa Fe.
- Grupo de Trabajo de Investigación y Desarrollo Isalas Canarias. (s.f.). *Biodigestor*. Obtenido de <http://energia-libre.info/biodigestor.html>
- Homeovita. (s.f.). *Maca*. Obtenido de <http://www.homeovita.com.uy/fichas/maca.pdf>
- Hurtado Marchena, J. R., & Rodríguez Barreto, J. J. (2011). *Elaboración de una bebida láctea enriquecida con harina de Cañihua (Chenopodium pallidicaulle) y Kañiwa (Amaranthus caudatus)*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Harvard Health Publishing. (18 de junio de 2015). *How much protein do you need every day*. Obtenido de <https://www.health.harvard.edu/blog/how-much-protein-do-you-need-every-day-201506188096>
- INCLAMCO2. (2013). *El Compostaje: Receta para reducir la huella de carbono en España*. Amigos de la Tierra.
- INIA KAMPENAIKE. (2012). *Siembra de Alfalfa*. Punta Arenas: Oscar Strauch Bertin.
- INTA. (s.f.). *10 puntos para implantar alfalfa*. Estación Experimental Agropecuaria.
- INDESOL. (2014). *Manual para la producción de Amaranto*. México: Puente a la salud comunitaria.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (s.f.). *Manejo del cultivo de sachá inchi*. Obtenido de http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/509/1/Trip-Cultivo_Sacha_Inchi.pdf
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2013). *Manual de cosecha y post cosecha de piñón*. Portoviejo: INIAP.
- International Vegetarian Union. (4 de Diciembre de 2017). *Nutritional Guide for Adult Vegetarian Diets*. Obtenido de <https://ivu.org/resources/nutrition/89-nutritional-guide-for-adult-vegetarian-diets.html>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- ISTOCKPHOTO/THINKSTOCK. (s.f.). *Beneficios y contraindicaciones de las bayas de Goji*. Obtenido de <https://www.vix.com/es/imj/salud/4043/beneficios-y-contraindicaciones-de-las-bayas-de-goji>
- INFRA. (s.f.). *Fertilización carbónica en invernaderos para cultivos hidropónicos y suelo*. Obtenido de <http://grupoinfra.com/files/libreria-de-descargas/fertilizacion-invernaderos.pdf>
- La Rosa, R., Anaya, E., Flores, Z., Bejarano, M., Brito, L., & Pérez, E. (2016). Germinación de *Chenopodium pallidicaule* aelle "Kañiwa" bajo condiciones de salinidad y temperatura. *The Biologist*.
- Lacanna, M. C. (s.f.). *Análisis del caso de la exportación de maca por los pequeños productores andinos del departamento de pasco*.
- López, V. (2009). Rendimiento de grano y calidad del forraje de amaranto (*Amaranthus* spp.) cultivado a diferentes densidades en el noreste de México. *SCIELO*.
- Lanza, M., Flores, G., Bacarreza, R., Mollo, L., & Zuleta, J. M. (2012). *Recuperando nuestros saberes para el control de plagas*. La Paz: Estado Plurinacional de Bolivia.
- López, V. (2014). *Guía para la producción de amaranto en el estado de México*. México: ICAMEX.
- Manco Céspedes, E. I. (2006). *Cultivo de sachá inchi*. San Martín: Ministerio de Agricultura.
- Manco Céspedes, E. I. (2008). *Sachá Inchi: Cultivo promisorio para la Amazonía Peruana*. San Martín: INIA, INCAGRO, GTZ, Ministerio de Agricultura .
- Miranda, R. (13 de enero de 2012). *Fotoperiodo de la quinua*. Obtenido de <http://laquinua.blogspot.com/2012/01/fotoperiodo-de-la-quinua.html>
- Martínez Castillo, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Tecnología en Marcha*, 23-39.
- Mamani Apaza, V. (2010). *MANEJO Y MEJORAMIENTO DE KANÍWA*. Puno: INIA.
- Mapes Sánchez, E. C. (2015). *EL AMARANTO*. Obtenido de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf
- Masabni, J. (s.f.). *Col rizada*. Obtenido de <https://aggie-horticulture.tamu.edu/vegetable/files/2013/09/EHT-051S-collard-greens.pdf>
- Mejor con Salud. (s.f.). Obtenido de <https://mejorconsalud.com/wp-content/uploads/2014/01/Alcachofa.jpg>
- Mendoza Moscoso, D. (s.f.). *Tecnología del Cultivo de Kañiwa*.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Mendoza, H., López, J., Mejía, N., & Cedeño, W. (2015). Rendimiento inicial de líneas de piñón (*Jatropha curcas* L.) bajo dos métodos de siembra. *ReserchGate*.
- Multicanal Iberia S.L.U. (2017). *Kale*. Obtenido de <https://canalcocina.es/sabias-que/glosario/kale>
- Olson, M. E., & Fahey, J. W. (2011). Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1071-1082.
- Ogino, A., Sommart, K., Subepang, S., Mitsumori, M., Hayashi, K., Yamashita, T., & Tanaka, Y. (2015). Environmental impacts of extensive and intensive beef production systems in Thailand evaluated by life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 22-31.
- Olaya Arboleda, Y., & González Salcedo, L. O. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Olaya Arboleda, Y., & González Salcedo, L. O. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Perú biodiverso. (2009). *Manual de produccvión de sachá inchi para el biocomercio y la agroforestería sostenible*. Lima: GmbH, PDRS, SECO, MINCETUR.
- Peña Guerra, S., Lara Cabezas, I., Zárate Lázaro, P., Albornoz, L., & Marín Sanz, P. (2008). *Protocolo de cultivo de sachainchi*. La Merced: INAGRO, CIED, APROPI, APACIP.
- Peña Guerra, S., Lara Cabezas, I., Zárate Lázaro, P., Lolay Albornoz, M., Aguilar Semino, C., Castro Rojas, F., . . . Palomino Arenas, M. A. (2007). *Manual de capacitación: Cultivo de Sacha Inchi*. Huancayo: INCAGRO.
- Pelletier, N., Pirog, R., & Rasmussen, R. (2010). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 380-389.
- Pando Gómez, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Lima: FAO.
- Peña López, M. Y. (2016). *Potencialidades del cultivo de alcachofa en el Altiplano Cundiboyacense*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Perú biodiverso. (2009). *Manual de produccvión de sachá inchi para el biocomercio y la agroforestería sostenible*. Lima: GmbH, PDRS, SECO, MINCETUR.
- Pexels. (10 de julio de 2018). *El pistacho se posiciona como el nuevo alimento de moda para adelgazar*. Obtenido de <https://www.mundiarior.com/articulo/mundilife/pistacho-posiciona-nuevo-alimento-moda-adelgazar/20180710173111127111.html>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Palacio Castañeda, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agualluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Axuiliadora de Caldas, Antioquia*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Quiroga Garza, H. M. (2013). Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 503-516.
- Rubio, V., & ALberto, F. (s.f.). *Control biológico de plagas y enfermedades de los cultivos*. Madrid: Centro de Ciencias Medio Ambientales.
- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO.
- Rana, M. K., & Reddy, P. K. (s.f.). *Vegetable Crop Science*. CRC Press.
- Recetas.com. (18 de enero de 2018). *Toda la verdad sobre la quinua*. Obtenido de <https://www.recetas.com/reportajes/toda-la-verdad-sobre-la-quinua.html>
- Rionegro, C. M. (2018). Precios. (L. Salazar, Entrevistador)
- Rivas, J. M., López Castañeda, C., Hernández Garay, A., & Pérez Pérez, J. (10 de enero de 2007). *Plan de manejo óptimo de la cosecha de Alfalfa*. Obtenido de <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/plan-de-manejo-optimo-de-la-cosecha-de-alfalfa-t26827.htm>
- Rabobank. (2008). *Global Animal Protein Outlook*.
- Rivera Huerta, A., Güereca, L. P., & Rubio Lozano, M. d. (2016). Environmental impact of beef production in Mexico through life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 44-53.
- Ruviaro, C. F., de Léis, C. M., Lampert, V. d., & Jardim Barcellos, J. O. (2014). Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 435-443.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-a0701e.pdf>
- Superintendencia de Industria y Comercio. (s.f.). *ESTUDIO SECTORIAL CARNE BOVINA: DIAGNÓSTICO DE LIBRE COMPETENCIA*. Retrieved from http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/CARNE%20BOVINA.pdf

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- S. Agroptima. (s.f.). *Producción de pistachos: inversión inicial para empezar una plantación*. Obtenido de <https://www.agroptima.com/es/blog/produccion-pistachos-inversion/>
- Saavedra Del R., Gabriel; Blanco M., Carlos; Pino Q., Maria Teresa; Aspe Di L., Cristián. (20 de octubre de 2011). *Hortalizas saludables: El Berro*. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR38086.pdf>
- Sanchinelli Pezzarossi, K. B. (2004). *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Secretaría de Fomento Agropecuario Gobierno del Estado de Baja California. (julio de 2009). *ETUDIO SOBRE HORTALIZAS ORIENTALES EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA*. Obtenido de http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/agropecuaria/documentoHortalizas.pdf
- Siembra y cuidado del GOJI BERRY*. (8 de julio de 2013). Obtenido de <http://dokanchan.blogspot.com/2013/07/siembra-y-cuidado-del-goji-berry.html>
- Soberanía Alimentaria. (5 de noviembre de 2014). *Cañahua*. Obtenido de http://www.soberanialimentaria.org.bo/index.php?option=com_content&view=article&id=135:canahua&catid=40&Itemid=760
- Super Alimentos. (s.f.). *Maca andina beneficios*. Obtenido de <http://www.macaandina.es/beneficios.html>
- Superalimentos. (s.f.). *Propiedades bayas goji*. Obtenido de <http://www.bayasgoji.es/propiedades.html>
- SEMARNAT. (s.f.). Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat>
- Sepúlveda Villada, L. A., & Alvarado Torres, J. A. (2013). *Manual de compostaje*. Medellín: Acodal.
- Sustainable Plant. (2011). *Closed-Loop*. Obtenido de <http://www.sustainableplant.com/topics/closed-loop/>
- SAGARPA. (2016). *Paquete tecnológico para el cultivo de amaranto con siembra mecanizada bajo condiciones de riego en San Luis Potosí*. Obtenido de http://www.campopotosino.gob.mx/modulos/Docs-descargar/AMARANTO1_MECAN2016.pdf
- The Royal Horticultural Society. (2018). *Goji berries*. Obtenido de <https://www.rhs.org.uk/advice/profile?PID=581>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Trent Rhode. (2018). *Growing Goji Berrys*. Obtenido de <https://gojijuices.net/growing-your-own-goji-berries/>
- Tejerina Oller, J. L., & Arenas Martínez, R. (2005). *GUÍA PARA EL CULTIVO Y APROVECHAMIENTO DEL COIME O AMARANTO*. Convenio Andrés Bello.
- Tsutsumi, M., Ono, Y., Ogasawara, H., & Hojito, M. (2017). Life-cycle impact assesment of organic and non-organic grass-fed beef production in Japan. *Journal of Clean Production*, 2513-2520.
- Universidad Autónoma de Entre Ríos. (s.f.). *¿Qué es la biodigestión?* Instituto Tecnológico Universitario de Crespo.
- Ulloa, E. (2017). *Oferta de biocontroladores de origen costarricense como insumo para la producción agrícola*. Costa Rica: Escencial Costa Rica.
- USDA. (2017, Octubre 12). Retrieved from https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf
- Universia. (20 de junio de 2012). *¿Cuánto pesa la población mundial?* Obtenido de <http://noticias.universia.es/en-portada/noticia/2012/06/20/944221/pesa-poblacion-mundial.html>
- USDA. (2018). *USDA Food Composition Databases*. Obtenido de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list?qlookup=23568>
- Villanueva Díaz, J., Loredó Osti, C., & Hernández Reyna, A. (2001). *Requerimientos hídricos de especies anuales y perennes en las zonas media y altiplano de San Luis Potosí*. San Luis Potosí: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Centro de Investigación Regional del Noreste; Campo Experimental Palma de la Cruz.
- Villegas Aparicio, Y., Hernández Garay, A., Pérez, P. J., López Castañeda, C., Herrera Haro, J. G., Enriquez Quiroz, J. F., & Gómez Vázquez, A. (2004). *Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (Medicago sativa L.)*. México: Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca.
- Wikifarmer. (1 de septiembre de 2017). *Condiciones de Crecimiento del Pistacho – Clima para la plantación del pistacho*. Obtenido de <https://wikifarmer.com/es/condiciones-de-crecimiento-del-pistacho/>
- Whelan, A. (s.f.). *Bioinsumos, un giro hacia la sustentabilidad*. Obtenido de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/pdfs/59/02_bioinsumos.pdf

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.